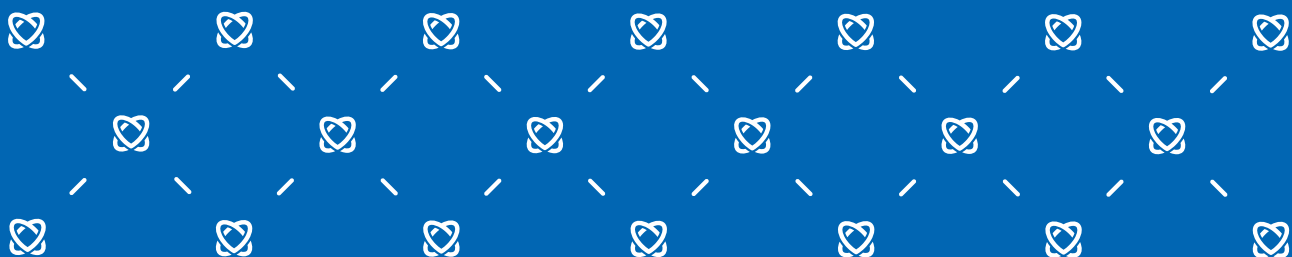




# Säteilyn käytön turvallisuus kardiologiassa



Oppaan tekemiseen on osallistunut suuri joukko kotimaisia alan asiantuntijoita. Ilman heidän panostaan opasta ei olisi saatu kirjoitettua näin kattavana. Tahdomme myös kiittää Suomen Kardiologista Seuraa oppaan kirjoittamiseen annetusta tuesta sekä Petro Julkusta (KYS) sironta-mittausten teosta.

Hannu Järvinen, toim. (STUK)

Markku Eskola (TAYS, Sydänsairaala)

Elina Hallinen (STUK)

Jukka Järvinen (TYKS)

Antti Kivelä (KYS, Sydänkeskus)

Timo Mäkelä (OYS)

Teuvo Parviainen (STUK)

Markku Pirinen (STUK)

Tuomas Rissanen (Siun sote)

Joanna Sierpowska (Siun sote)

Teemu Siiskonen (STUK)

Kirsi Vinni-Lappalainen (Siun sote)

ISSN-L 1799-9464

ISSN 1799-9464 • ISBN 978-952-309-426-0 (nid.)

ISSN 1799-9472 • ISBN 978-952-309-417-8 (pdf)

# Sisältö

1. Johdanto.....	7
2. Tarkoitus ja soveltamisala .....	11
3. Henkilökunnan säteilysuojelu .....	12
3.1 Annosmittareiden käyttö .....	13
3.2 Henkilökohtaisten säteilysuojien käyttö.....	15
3.3 Kiinteiden ja liikuteltavien säteilysuojien käyttö.....	17
3.4 Erikois- ja kertakäyttösuojaimet .....	19
3.5 Etäisyyden ja kuvaussuuntien hyödyntäminen .....	21
3.6 Säteilysuojelu erityistilanteissa kuten elvytyksen aikana .....	23
3.7 Säteilysuojelu tahdistin- ja vajaatoimintatahdistinasennuksissa .....	25
3.7.1 Tahdistinasennukset.....	25
3.7.2 Vajaatoimintatahdistinasennukset (CRT) .....	26
3.8 Säteilysuojelu elektrofysiologiassa tutkimuksissa ja katetriablaatiassa.....	28
3.8.1 Perinteinen elektrofysiologinen toimenpide (EFT).....	28
3.8.2 Elektroanatominen elektrofysiologinen toimenpide .....	29
3.8.3 Navigaatiolaitteistoa käyttävä elektroanatominen toimenpide (RMT-EFT) .....	29
3.9 Säteilysuojelu TAVI- ja MitraClip -toimenpiteissä .....	30
3.9.1 Yleistä .....	30
3.9.2 Säteilysuojelu TAVI-toimenpiteessä .....	31
3.9.3 Säteilysuojelu MitraClip-toimenpiteessä .....	33
3.10 Röntgentutkimukset kardiologisella vuodeosastolla, sydänvalvonnassa ja sydänteho-osastolla .....	35
3.11 Raskaana oleva työntekijä .....	35
3.12 Vierailijoiden säteilysuojaus .....	35
4. Potilaan säteilysuojelu .....	36
4.1 Tutkimusindikaatio ja säteilyannos .....	36
4.2 Kuvausreitit.....	39
4.3 Potilaan säteilysuojaus .....	39
4.4 Kuvaustekniikka, kuvausohjelmien valinta .....	40
4.5 Kuvailmaisimen ja röntgenputken sijainti .....	41
4.6 Kuvaussuunnat .....	43
4.7 Lämpövalaisun ja kine kuvauksen käyttö .....	47
4.8 Kenttäkoot ja suurennoskentän käyttö .....	49
4.9 Annos-, pulssi- ja kuvanopeuksien käyttö.....	49
4.10 Kuvakentän rajausta .....	50
4.11 Suodatuksen ja hilan käyttö.....	52
4.12 Erityistilanteet kuten raskaana oleva potilas.....	53
4.13 Potilaan ihon annoksen tarkkailu ja hälytysrajat.....	55
4.14 Potilaan informointi.....	56
4.15 Toimenpiteen jälkeiset tehtävät.....	56
4.16 Muut potilaan säteilyturvallisuuteen vaikuttavat toimenpiteet .....	57

5. Avainkohdat henkilökunnan ja potilaan säteilysuojelussa .....	58
Kirjallisuutta .....	59
Liite 1 Säteilysuojelun perusteet .....	62
L1.1 Säteilyn biologiset vaikutukset .....	62
L1.2 Säteilyriski.....	62
L1.2.1 Potilaan säteilyriski.....	63
L1.2.2 Henkilökunnan säteilyriski .....	67
L1.3 Oikeutus, optimointi ja yksilönsuojaperiaatteet .....	68
Liite 2 Suureet ja käsitteet.....	69
L2.1 Säteilysuojelun perussuureet: absorboitunut annos, ekvivalenttiannos ja efektiivinen annos .....	69
L2.2 Mittaussuureet .....	71
L2.2.1 Potilaan säteilyaltistus.....	71
L2.2.2 Henkilökunnan säteilyaltistus .....	74
L2.3 Kuvanlaatu .....	74
Liite 3 Laitteet ja tekniikat.....	76
L3.1 Angiografialaitteisto.....	76
L3.2 Röntgensäteily ja röntgenputki.....	77
L3.3 Suodattimet .....	78
L3.4 Jännite.....	78
L3.5 Virta.....	79
L3.6 Kentänrajoittimet.....	79
L3.7 Kiilakaihdin.....	80
L3.8 Hila .....	80
L3.9 Pulssi ja pulssinopeus .....	81
L3.10 Hilaohjattu läpivalaisu .....	81
L3.11 Automaattinen putkivirran ja jännitteen säätö (ABC) .....	82
L3.12 Suurennot .....	83
L3.13 Kuvailmaisimien .....	83
L3.14 Kuvamonitori .....	84
L3.15 Kuvan käsittely.....	85
L3.16 Säteilysäiliön kenttäkoko (FOV) .....	85
L3.17 Pöytä .....	86
L3.18 Toimenpiteen ohjaus: jalkapoljin ja käyttöpaneeli .....	86
L3.19 Kuvamoodit: läpivalaisu, kinekuvaus ja rotational-angiografia (KKTT).....	86
L3.19.1 Läpivalaisu ja kinekuvaus.....	86
L3.19.2 Kartiokeilatomografia (KKTT); rotational angiografia .....	87
L3.20 Toimenpidesuunnat .....	87



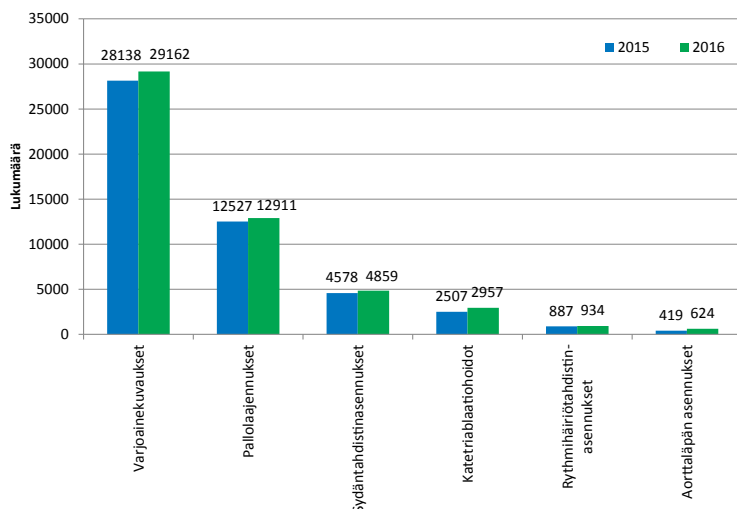
Liite 4	Lainsäädäntöön pohjautuvat vaatimukset.....	89
L4.1	Vastuujärjestelyt .....	89
L4.2	Työntekijöiden säteilysuojelu .....	90
L4.3	Säteilylaitteet ja niiden käyttö sekä laadunvarmistus .....	91
L4.4	Potilaan säteilyaltistuksen vertailutasot ja kliininen kuvanlaadun arviointi ..	92
L4.5	Säteilymittaukset.....	95
L4.6	Koulutus .....	95
L4.7	Poikkeavat tapahtumat ja vaaratilanneilmoitus .....	95
L4.8	Itsearviointit ja kliininen auditointi .....	96
L4.9	Laatukäsikirja.....	97
Liite 5	Esimerkki röntgenlaitteen laadunvalvontatestistä.....	98
Liite 6	Esimerkki itsearviointista .....	100



# Säteilyn käytön turvallisuus kardiologiassa

## 1. Johdanto

Röntgensäteilyn käyttö on välttämätöntä useimmissa kajoavissa sydäntutkimuksissa. Tavallimmat ionisoivaa säteilyä käyttävät kardiologiset tutkimukset ja hoidot ovat sepelvaltioiden varjoainekuvaukset ja pallolaajennus, tahdistimen ja vajaatoimintatahdistimen asennus sekä rytmihäiriöiden elektrofysiologinen tutkimus ja ablaatiohoito. Viimeisen parinkymmenen vuoden aikana näiden sydäntoimenpiteiden lukumäärä on moninkertaistunut ja kasvaa edelleen noin 5 %:n vuositahtia. Vuonna 2016 Suomessa tehtiin 29 162 sepelvaltimokuvausta ja 12 911 pallolaajennushoitoa. Muutkin katetrivälitteiset toimenpiteet kuten perkutaaninen aortta-tekoläpän asennus (TAVI, 624 kpl vuonna 2016) ja mitraalivuodon perkutaaninen hoito ovat kasvussa. Erityisesti vaativimmissa elektrofysiologisissa tutkimuksissa (2 957 kpl vuonna 2016) on viime vuosina käytetty myös katetrien magneettiohjaukseen perustuvia järjestelmiä, joilla ionisoivan säteilyn käyttöä saadaan huomattavasti vähennettyä. Järjestelmät ovat kuitenkin erittäin kalliita, eivätkä vielä sovellu käytettäväksi muissa kardiologisissa toimenpiteissä. Sydäntahdistimia Suomessa asennettiin vuonna 2016 ensiasennuksina 4 859 kpl ja rytmihäiriötahdistimia 934 kpl.



Kuva 1.1. Kardiologisen seuran vuoden 2015–2016 tilastot sepelvaltimoiden varjoainekuvauksista, pallolaajennushoitotoimenpiteistä, sydän- ja rytmihäiriötahdistinten ensiasennuksista, katetriablaatiohoidoista ja aorttaläpän katetriteitse asennuksista (TAVI). Sepelvaltimoiden angiografiakuvauksia, pallolaajennushoitoja ja sydäntahdistinasennuksia tehdään nykyisin yhteismäärältään saman verran yliopistosairaaloissa ja keskussairaaloissa.

Lääketieteellinen säteilyn käyttö edellyttää usein tasapainottelua laadukkaaseen diagnostiikkaan ja hoitoon riittävän kuvanlaadun ja mahdollisimman alhaisen potilaan ja henkilökunnan säteilyannoksen välillä (ns. ALARA-periaate, ks. liite 1, kohta L1.3). Yksittäisen potilaan ennusteen kannalta merkittävämpi asia on toimenpiteen onnistuminen, suorien säteilyhaittojen ollessa erittäin harvinaisia. Sydäntoimenpiteellä, kuten pallolaajennuksella tai tahdistimen asennuksella, voidaan usein lievittää merkittävästi potilaan oireisuutta tai usein jopa parantaa elinajan ennustetta, toisinaan dramaattisestikin. Vääränlainen tai huolimaton säteilyturvallisuu lisää lähinnä ionisoivan säteilyn satunnaisten haittojen mahdollisuutta potilaspopulaatiossa. On myös hyvä tiedostaa, että potilaan säteilyaltistuksen optimointi vähentää myös henkilökunnan annoksia.

#### **Säteilysuojelun kolme perusperiaatetta ovat**

1. oikeutus: hyödyn on oltava haittaa suurempi
2. optimointi: säteilyannos ei saa olla suurempi kuin mikä on välttämätöntä tarkoitetun tutkimustuloksen tai toimenpiteen tarkoituksen saavuttamiseksi
3. yksilönsuoja: tutkimuksesta tai toimenpiteestä muille kuin potilaalle aiheutuva säteilyannos ei saa ylittää työntekijöille ja väestölle asetettuja annosrajoja.

Kardiologista toimenpiteistä potilaille aiheutuvat efektiiviset annokset voivat vaihdella huomattavasti (jopa kymmenkertaisesti), ollen keskimäärin 10–15 mSv eli yli 100-kertaisia tavanomaisten keuhkokuvausten annoksiin, ja suurimmillaan jopa yli 100 mSv (1). Yleisyytensä ja korkean annostasonsa vuoksi kardiologiset tutkimukset ja toimenpiteet aiheuttavat nykyään merkittävän osan lääketieteellisestä säteilyn käytöstä väestölle aiheutuvasta annoksesta. Niistä väestölle aiheutuva efektiivinen annos Suomessa oli 11 % kaikista röntgentutkimuksista ja toimenpiteistä aiheutuneesta efektiivisestä annoksesta (2). USA:ssa kardiologinen säteilyn käyttö muodostaa 30 % kaikesta lääketieteellisestä röntgensäteilyn käytöstä väestölle aiheutuvasta annoksesta (sädehoitoa lukuun ottamatta) (1). Kardiologiassa käytettävien säteilylaitteiden kehittyminen on pienentänyt potilaiden säteilyaltistusta, mutta samanaikaisesti vaikeiden toimenpiteiden lukumäärä on kasvanut. Koska potilaalle aiheutuvat säteilyannokset kardiologisessa säteilyn käytössä voivat olla suuria, käytön lisääntyessä ovat lisääntyneet myös potilaalle aiheutuvien haittavaikutusten riskit, stokastinen syöpäriski ja myös deterministisen haitan, ihovaurion riski. Viime vuosina on saatu viitteitä säteilyn aiheuttamasta sydän- ja verisuonitautien riskistä, jos sydämen (tai verisuonten) ekvivalenttiansnos ylittää 0,5 Sv (3) (ks. liitteet 1 ja 2).

Kardiologien itsensä saamat säteilyannokset ovat myös viime vuosina kasvaneet ja ovat joissain tapauksissa olleet 2–3-kertaisia verrattuna toimenpideradiologien tyypillisiin annoksiin (1). Kajoavia toimenpiteitä paljon tekevien kardiologien vuotuiset annokset voivat olla helposti 5–10 mSv ja aiheuttavat noin 1:100 elinaikaisen ylimääräisen syöpäriskin (1). Suomessa kardiologien keskimääräiset säteilyannokset (henkilökohtaisen annosmittarin näytämät syväannokset, ks. liite 2, kohta L2.2.2), muutama mSv, ovat olleet noin puolta pienempiä kuin toimenpideradiologien annokset, mutta suurimmat syväannokset ovat kuitenkin olleet

15–25 mSv. Syöpäriskin lisäksi muun tyyppisten haittojen riskit, erityisesti harmaakaihin riski, on kasvanut. Toimenpiteen suorittajan säteilyriski voi kasvaa merkittäväksi, jos hän tekee useita satoja (400–800) toimenpiteitä vuosittain esimerkiksi 20 vuoden ajan (4).

Tutkimuksia ja toimenpiteitä suorittavien kardiologien ja muun hoitohenkilökunnan (hoitajat ja muut avustajat) on ymmärrettävä säteilyn käytöstä potilaalle ja henkilökunnalle aiheutuvat annokset ja niihin liittyvät riskit. Heidän on ymmärrettävä säteilysuojeluun ja toimenpiteiden optimointiin liittyvät periaatteet, ja osattava soveltaa niitä tehokkaasti käytäntöön. Säteilysuojelun ja optimoinnin periaatteet on sen vuoksi tärkeää sisällyttää eri ammattiryhmien perus- ja jatkokoulutukseen, ja parhaisiin tuloksiin päästään ”täsmäkoulutuksella” (focused learning process) (4).

Ionisoivan säteilyn aiheuttamien mahdollisten haittojen minimoiminen on jokaisen sydän-toimenpiteitä suorittavan lääkärin ja hoitohenkilökunnan vastuulla. Henkilökunnan ja potilaan säteilyannosta vähennetään henkilökohtaisilla säteilysuojilla sekä kiinteillä että liikuteltavilla säteilysuojilla, joiden käytön tulee olla rutiininomaista. Monilla yksinkertaisilla ja vähän aikaa vievillä toimenpiteillä saadaan sekä potilaan, että henkilökunnan annoksia vähennettyä merkittävästi. Näiden periaatteiden omaksuminen kardiologian erikoistumiskoulutuksen alusta lähtien johtaa merkittävään työuran aikaisen kumulatiivisen säteilyannoksen vähentymiseen.

Suurin osa henkilökunnan saamasta säteilystä on potilaasta siroavaa säteilyä, jota voi vähentää tehokkaasti oikeaoppisella säteilysuojien, kuten liikuteltavan lyijylasisuojan, käytöllä. Tehokas keino on myös henkilökunnan liikkuminen salissa: kun etäisyys säteilylähteeseen kasvaa kaksinkertaiseksi, vähenee säteilyannos neljäsosaan. Jatkuva henkilökohtainen toimenpidetekniikan kehittäminen on myös keskeistä. Säteilysuojelun näkökulmasta näitä ovat esimerkiksi kuvanvahvistimen pitäminen mahdollisimman lähellä potilasta, turhien kuvasarjojen minimointi, kuvakenttien rajaaminen ja liiallisten kallistusten välttäminen. Toimenpidelääkärin keskittyessä vaativan sydäntoimenpiteen tekemiseen, tulee avustavan henkilökunnan seurata laitteen teknistä käyttöä, potilaan säteilyannosta ja tarvittaessa muistuttamalla toimenpiteen tekijää havaitessaan puutteita säteilyn käytön optimoinnissa. Nykyaikana erilaiset toimenpidesimulaattorit ja varjoainekuvaussalissa käytettävä anatominen sepelvaltimomalli auttavat erikoistuvia lääkäreitä oppimaan turvallisen ja samalla säteilyturvallisen toimenpidetekniikan jo ennen varsinaista potilastyötä. Simulaatiokoulutus auttaa myös erikoislääkäreitä omaksumaan uusia toimenpidetekniikoita.

#### **Säteilyn käytön turvallisuudesta vastaavan johtajan tyypillisiä tehtäviä ovat mm:**

- riskien tunnistaminen, turvallisuusarviointi ja varautuminen poikkeaviin tapahtumiin
- hyvän turvallisuuskulttuurin edistäminen ja ylläpito
- säteilyturvallisuus- ja turvajärjestelyt säteilyn käyttöpaikalla
- säteilyturvallisuuden ylläpito ja jatkuva seuranta muun muassa annostarkkailun ja työolojen tarkkailun tuloksia analysoimalla
- työntekijöiden säteilysuojelukoulutus ja opastus
- turvallisuusluvan ja säteilyn käyttöorganisaation ajan tasalla pitäminen
- poikkeavien tapahtumien käsittely ja tapahtumista raportointi STUKiin.

Lisätietoja: Ohje ST 1.4 (5)

Sydäntoimenpiteitä tekevät kardiologit ja hoitajat kuuluvat säteilytyöluokkaan A. A-luokan säteilytyöntekijöille on tehtävä terveystarkastus työsuhteen alussa ja tämän jälkeen vähintään kolmen vuoden välein. Terveystarkkailusta vastaavan lääkärin on saatava tiedot säteilytyöntekijän vuotuisista säteilyannoksista ja työolojen muutoksista.

Säteilysuojelun koulutusvaatimukset on säädetty säteilylaissa (6) ja säteilysuojelukoulutuksen vähimmäismäärät eri ammattiryhmille on annettu STUKin ohjeissa ST 1.7 (7) ja ST 1.8 (8). Jokaisessa toimenpideyksikössä on säteilyn käytöstä vastaava johtaja, joka on vaadittavan kurssin käynyt kardiologi tai sairaalafyysikko, joskus radiologi. Vastaava johtaja huolehtii määräysten mukaisesta säteilyn käytöstä ja kouluttautumisesta organisaatiossa. Henkilökunta on perehdytettävä käytössä olevaan kuvauslaitteeseen ja yksikössä tulee olla ajantasaiset ohjeet säteilyn käytöstä – myös poikkeustapauksissa kuten laitevian sattuessa.

#### Säteilysuojelukoulutuksen vähimmäisvaatimukset eri ammattiryhmille

Ammattiryhmä	Perus- ja jatkokoulutus	Täydennyskoulutus/5v
Toimenpidekardiologi	80 h	40 h
Kardiologi	80 h	20 h
Röntgenhoitaja	120 h	40 h
Kardiologisen toimenpidesalin sairaanhoitaja	54 h	20 h
Sairaalafyysikko		40 h
Säteilyturvallisuudesta vastaava johtaja		60 h

Lisätietoja: (7, 8)

Säteilyä käyttävän henkilökunnan on hallittava laitteiden käyttöohjeistukset ja turvallisen työskentelyn periaatteet. Nykyaikaisia angiolaitteistoja asianmukaisesti käyttäen henkilökunnan ja potilaankin saama säteilyannos jää usein varsin pieneksi rutiininomaisissa sydäntoimenpiteissä (ks. kohdat 3.2 ja 4.5). Toimenpidevälineiden ja tekniikan kehittyminen on kuitenkin viime vuosina mahdollistanut eräät erittäin vaativat sydäntoimenpiteet kuten kroonisten sepelvaltimon totaalityökalujen (CTO) avaamisen. Näissä toimenpiteissä voi läpivalaisuaika mennä jopa yli tunnin mittaiseksi ja kuvasarjojakin voi kertyä runsaasti. Yksittäistapauksissa myös muissa sydäntoimenpiteissä kuten anatomisista syistä tai muuten hankalissa vajaatoimintahdistinasennuksissa voi toimenpide pitkittyä. Toimenpiteen tekijän vastuulla on arvioida tilanne näissä tilanteissa. Onnistumismahdollisuuden ollessa enää vähäinen, on toimenpide syytä keskeyttää ja mahdollisesti yrittää toimenpiteen loppuun viemistä toisella kertaa, mikäli jokin toinen lähestymistapa näyttää tarjoavan onnistumisedellytyksiä.

Tässä oppaassa esitettävät periaatteet soveltuvat kaikkiin kajoaviin kardiologisiin tutkimuksiin ja toimenpiteisiin.

## 2. Tarkoitus ja soveltamisala

Tämän kardiologisen säteilyn käytön turvallisuutta koskevan oppaan tarkoituksena on esittää tarpeelliset perustiedot toimenpiteiden optimoinnille (säteilysuojelun perusteet ja periaatteet, suureet ja käsitteet, laitteet ja tekniikat sekä tyypilliset potilaan ja henkilökunnan säteilyannokset) ja antaa käytännön opastusta sekä henkilökunnan että potilaan säteilysuojelusta, mukaan lukien toimenpidekohtaiset, hyvää käytäntöä vastaavat menettelyohjeet. Opas on tarkoitettu kaikille eri ammattiryhmille (kardiologit, röntgenhoitajat, sairaanhoitajat, fyysikot ja muut ammattiryhmät), jotka osallistuvat kardiologisen säteilyn käyttöön. Opasta voi käyttää myös koulutustoiminnassa, esimerkiksi oppimateriaalina ja tenttiaineistona erikoislääkärikoulutuksessa, sekä toimenpideyksiköissä koulutusmateriaalina hoitohenkilökunnalle ja erikoistuville fyysikoille.

Oppaassa käsitellään sekä tutkimusten ja toimenpiteiden kohteena olevien potilaiden että henkilökunnan säteilysuojelua.

Oppaan aihepiiriin kuuluvat seuraavat kardiologiset tutkimukset ja toimenpiteet:

- sepelvaltimoiden varjoainekuvaukset, sydämen katetrisaatio ja sepelvaltimotoimenpiteet
- tahdistinasennus
- elektrofysiologinen tutkimus ja ablaatiohoito
- perkutaaniset läppätoimenpiteet (TAVI ja Mitraclip).

Lisäksi tarkastellaan erikseen elvytystilanteita ja muita poikkeustilanteita.

Oppaassa ei käsitellä sydämen muita kuvantamistutkimuksia (koronaari-TT, sydämen MRI, sydämen ultraäänitutkimus, SPECT, PET), lasten kardiologisia tutkimuksia ja toimenpiteitä eikä säteilyn käyttöä verisuonikirurgiassa.

### 3. Henkilökunnan säteilysuojelu

Tässä oppaassa käsitellään erikseen henkilökunnan ja potilaan säteilysuojeluun liittyviä asioita. Monet potilaan säteilysuojeluun liittyvät näkökohdat (luku 4) hyödyttävät kuitenkin myös henkilökunnan säteilysuojelua, ja potilaan säteilyannosta pienentävillä tekniikoilla pienennetään yleensä myös henkilökunnan säteilyannosta.

Henkilökunnan koko kehon säteilyannos aiheutuu pääasiassa potilaasta siroavasta säteilystä. Henkilökunnan säteilysuojelussa suurin merkitys on siten etäisyyksillä ja kuvaussuunnilla (kohta 3.5) ja oikein asetetuilla säteilysuojaimilla (kohdat 3.2–3.4). Joissakin toimenpiteissä toimenpiteen suorittaja voi saada myös käsilleen suuren säteilyannoksen.

#### Tyypillisiä suurimpia syväannoksia vuodessa, mSv

Työntekijäryhmä	$H_p(10)$
Kardiologi	20
Hoitaja	4

Efektiivinen annos saadaan jakamalla syväannos tekijällä 50–100.

Sekä henkilökunnan että potilaan säteilyaltistukseen vaikuttaa joukko laitteiston ja toimenpiteen laadun määäämiä tekijöitä, joihin käyttäjä ei voi paljoa vaikuttaa, sekä tekijöitä, joissa käyttäjän tekemillä valinnoilla voidaan merkittävästi vaikuttaa säteilyaltistukseen. Käyttäjien onkin tunnettava hyvin säteilyaltistukseen vaikuttavat tekijät ja milloin ja miten niihin voidaan vaikuttaa (mm. henkilöstön sijainti, kuvaussuunnat, läpivalaisun ja kuvasarjojen käyttö).

Henkilökunnan altistus on suoraan verrannollinen potilaasta sironneen säteilyn määrään. Sironnan määrän tutkimishuoneessa voi arvioida seuraamalla annosnopeutta (annoksen ja pinta-alan tuloa (DAP) aikayksikössä, mGy cm<sup>2</sup>/min) tai referenssipisteen annosnopeutta (Gy/min) ja C-kaaren paikkaa (sirontamäärä on pienempi kuvailmaisimen puolella).

KARPO-projektissa kerätyt tyypilliset henkilökunnan annostasot on esitetty taulukossa 3.1.



Taulukko 3.1. Tyypilliset henkilökunnan säteilyannokset kardiologisissa toimenpiteissä.

		Annos/toimenpide, mSv		Toimenpiteiden lkm	Kumulatiivinen annos, mSv		Toimenpiteiden lkm annosrajan*** täyttymiseksi	
		Silmä*	Rinta**		Silmä	Rinta	Silmä	Rinta
Sepelvaltimoiden varjoaineokuvaus + pallolääjennus	Tekijä	0,008	0,028	200	1,6	5,6	2 500	710
	Avustaja	0,003	0,006	200	0,06	1,2		
Elektrofysiologiset toimenpiteet	Tekijä	0,018	0,023	100	1,8	2,3	1 100	870
	Avustaja	0,0008	0,002	100	0,1	0,2		
Tahdistinasennukset	Tekijä	0,028	0,035	50	1,4	1,8	710	570
	Avustaja	0,003	0,001	50	0,2	0,1		
TAVI-toimenpiteet	Tekijä	0,034	0,058	50	1,7	2,8	590	350
	Avustaja	0,003	0,01	50	0,2	0,5		



\* Annosekvivalentti Hp(3)

\*\* Syväannos Hp(10); ks. liite 2, kohta L2.2.2

\*\*\* Annosrajat (kumulatiivinen annos/v): silmä 20 mSv, rinta (koko keho) 20 mSv

### 3.1 Annosmittareiden käyttö

Henkilökohtaista annosmittaria eli dosimetria käytetään aina, kun työntekijä on toimenpidesalissa tekemässä säteilytyötä.

Annosmittari sijoitetaan mahdollisimman kohtisuoraan mittariin osuvaan säteilyyn nähden siten, että mittari ei jää kehon minkään osan varjostamaksi. Mittaria ei tule kiinnittää raajoihin. Yleensä paras paikka on työntekijän kilpirauhassuojaan kiinnitettynä, mittari säteilyn tulo-suuntaan nähden oikein päin (kuva 3.0). Vaihtoehtoisena paikkana on rintatasku. Käytettäessä säteilysuojatakia tai muita suojaimia, annosmittari sijoitetaan säteilysuojaimien ulkopuolelle.

A-luokan säteilytyöntekijän annosmittari luetaan kuukausittain annosmittauspalvelussa ja tulos raportoidaan säteilyä käyttävään yksikköön. Efektiivistä annosta määritettäessä huomioon otettavien kudosten ja elinten annokset ovat suojaliivien käytön johdosta huomattavasti pienempiä kuin suojan päällä pidetyn mittarin lukema. Kaikki STUKin annosrekisteriin kirjatut annokset ovat laskennallisia mittaustuloksia, eivätkä efektiivisiä annoksia. Suojaesiliinaa käytettäessä karkea arvio efektiiviselle annokselle saadaan jakamalla mitattu syväannos 30:llä. Syväannos on efektiivisen annoksen likiarvo kehon pehmytkudoksessa 10 mm:n syvyydellä. Pinta-annos on ihon ekvivalenttiannoksen likiarvo 0,07 mm:n syvyydellä (liite 1).

#### Työntekijöiden annosrajat säteilytyössä:

- Säteilytyöstä työntekijälle aiheutuva efektiivinen annos ei saa ylittää keskiarvoa 20 mSv vuodessa viiden vuoden aikana eikä minkään vuoden aikana arvoa 50 mSv.
  - Silmän mykiön ekvivalenttiannos ei saa ylittää arvoa 150 mSv vuodessa eikä käsien, jalkojen tai ihon minkään kohdan ekvivalenttiannos arvoa 500 mSv vuodessa.
- (Säteilyasetus 20.12.1991/1512; lisätietoja liitteessä 4)



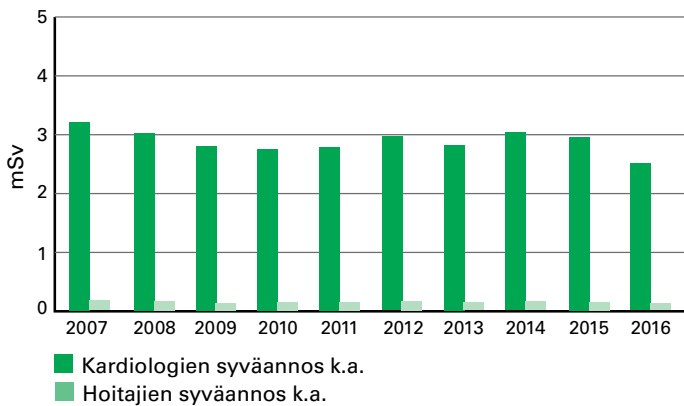
Kuva 3.0. Säteilyannosmittarin sijoittaminen kilpirauhassuojaan.  
Kuva: Tuomas Rissanen, Siun sote.

Säteilytyöluokkaan A kuuluvilla työntekijöillä dosimetri luetaan 4 viikon välein ja kirjauskynnys on 0,1 mSv. Säteilytyöluokkaan B kuuluvilla työntekijöillä dosimetri luetaan 12 viikon välein ja kirjauskynnys on 0,3 mSv. Kirjauskynnyksellä tarkoitetaan kynnysarvoa, jonka suuruiset ja jota suuremmat annokset kirjataan STUKin ylläpitämään työntekijöiden henkilöannosrekisteriin. Mikäli säteilytyöntekijän vuosittainen säteilyannos ylittää 20 mSv, hänen on pidettävä ylimääräistä dosimetria myös liivin alla rintakehän tai vatsan päällä.

Annosmittaria tulee säilyttää salityöskentelyn välillä sellaisessa paikassa, jossa se ei joudu alttiiksi muulle kuin normaalille taustasäteilylle. Säilytyspaikan lämpötila ja kosteus eivät saa poiketa olennaisesti normaalin huoneilman lämpötilasta ja kosteudesta. Dosimetri on suojattava myös ultraviolettisäteilyltä ja voimakkaalta valolta.

Reaaliaikaisten annosmittareiden käyttö ja niiden seuraaminen tutkimuksen aikana olisi suositeltavaa. Tällöin saadaan välitön palaute säteilyn käyttötavasta, laiteasetuksista, sijoittumisesta suhteessa säteilylähteeseen ja säteilysuojien käytöstä. Mikäli laitteessa ei ole kiinteää reaaliaikaista annosmittausta, tällaisen laitteen ajoittainenkin lainaaminen tai vuokraaminen opettaa henkilökuntaa oikeisiin toimintatapoihin ja optimointiin. Reaaliaikaisten annosmittareiden käytössä on hyvä perehtyä mittareiden ominaisuuksiin ja toimintaan, sillä mittarityypistä riippuen käytöllä voi olla rajoituksia (9).

Kuvassa 3.1 on esimerkkinä esitetty tyypillisiä henkilökunnan (kardiologi ja hoitaja) saamia säteilyannoksia. Paikkakohtaisesti annokset voivat kuitenkin vaihdella suuresti. Kardiologien maksimiannokset (syväannokset) ovat olleet vuosittain 16,9–25,8 mSv ja hoitajilla 2,3–4,5 mSv. Tavanomaisissa toimenpiteissä hyvää käytäntöä noudattaen hoitajien ei pitäisi saada kirjauskynnyksen ylittävää säteilyannosta. Jos annosmittareista todetaan hoitajien saaneen säännöllisesti säteilyannoksia, on syytä tarkastella työtapoja.



Kuva 3.1. Kardiologien ja kardiologiassa työskentelevien hoitajien vuosiannokset suurena syväannos, joka on mitattu henkilökohtaisen säteilysuojuksen päältä. Efektiiviset annokset saadaan jakamalla syväannokset kertoimella 50–100 (Ks. liite 2, kohta L2.2.2). Kardiologien lukumäärä vaihtelee vuosittain välillä 173–216. Hoitajien lukumäärä vaihtelee vuosittain välillä 394–511.

### 3.2 Henkilökohtaisten säteilysuojien käyttö

Säteilytutkimuksen aikana henkilökunnan tulee käyttää säteilysuojia, joiden suojauskyvyt vastaavat vähintään 0,25 mm:n paksuista lyijyä (kuva 3.2). Saatavilla on myös säteilysuojia, joiden suojauskyvyt vastaavat 0,35 mm:n ja 0,50 mm:n lyijykerrosta. Paksumman suojan haittapuoli on suurempi paino. Tällä hetkellä suojat ovat pääsääntöisesti lyijyttömiä, jonka ansiosta ne ovat kevyempiä käyttää. Vartalon suoja on joko yksiosainen essu tai kaksiosainen hameen ja liivin yhdistelmä.

Hame-liiviyhdistelmässä etukappaleet menevät päällekkäin ja näin ollen vartalon etupuolella suojan lyijyvastavuus on vähintään 0,50 mm. Jotta suojat menisivät päällekkäin, on valittava tarpeeksi suuri hame-liiviyhdistelmä. Hameen kokoa valitessa kannattaa ottaa mahdollisimman pitkä hame.

Essuja on monenlaisia: takkimallisia, jossa etukappaleet menevät päällekkäin tuoden eteen 0,50 mm:n suojan ja essuja, joissa etukappale on 0,50 mm:n paksuinen, mutta selkäosa on avoin. Tutkimusten aikana olisikin hyvä huomioida, että seisottaisiin kasvot säteilylähteeseen päin. Vartalon säteilysuoja suojaa säteilyltä suhteellisen hyvin useimmat efektiivisen annoksen kannalta tärkeät elimet (sukurauhaset, punainen luuydin, paksusuoli, keuhkot, maha, virtsarakko, rintarauhaset, maksa, ruokatorvi, osa ihosta ja luun pinnasta).

Käytettävien suojien tulisi olla henkilökohtaisia, koska eri suojakappaleet ovat juuri niillä paikoilla, kuin ne on tarkoitettukin olevan. Esimerkiksi etukappaleiden päällekkäisyydet ovat riittävät ja hame tai essu ulottuu myös polvien päälle. Suojia valitessa olisi hyvä huomioida työntekijän ruumiinrakenne ja varmistaa hyvä istuvuus, jotta välttyään tuki- ja liikuntaelinongelmilta. Hame-liiviyhdistelmä jakaa painoa hartioiden päältä myös vyötärölle, jolloin niska- ja hartiaseudun ongelmat saattavat vähentyä. Se on myös hengittävämpi pitkissä toimenpiteissä.

Hame-liiviyhdistelmän tai essun lisäksi puetaan aina myös kilpirauhassuoja. Lääkärin ja avustavan hoitajan tulisi käyttää myös sädesuojalaseja (0,50 tai 0,75 mm lyijyä), koska silmän mykiöt ovat säteilyherkät ja voi ajan mittaan aiheuttaa mykiön samentumisen eli

harmaakaihin. 1–2 Gy:n säteilyannosta pidetään kynnysarvona, jonka jälkeen voi syntyä silmätutkimuksella havaittava samentuma (liite 1). Sädesuojalasien tulee olla sellaiset, että ne suojaavat silmiä myös sivuilta, koska monitorit on usein sijoitettu siten, että potilaasta siroonnut säteily tulee lääkärille sivusuunnasta. Suojalaseihin saa henkilökohtaiset vahvuudet. Myös sädesuojapäähineen käyttöä on suositeltavaa, koska on viitettä, että pään vasemman puolen kasvainten esiintyvyys on kardiologien keskuudessa muuta väestöä yleisempää (10).

On tärkeää, että henkilökohtaiset säteilysuojat läpivalaistaan ennen käyttöönottoa ja myöhemmin vuosittain vaurioiden varalta, ja seurannan toteutuminen kirjataan esim. Excel-taulukkoon. Säteilysuojat on myös uusittava tarvittaessa, mikäli todetaan vaurioita. Säteilysuojat pidetään kunnossa estämällä niiden rypistyminen tai taittuminen laittamalla ne säilytykseen tarkoitettuun telineeseen. Suojat ripustetaan niin, että ne eivät jää ruttuun, koska varsinkin lyijykumi murtuu herkästi. Suojia ei ripusteta päällekkäin, jotta kosteus pääsee kuivumaan. Varjoainetahrat, veritahrat ym. pestään valmistajan ohjeen mukaan esimerkiksi miedolla saippualliuksella. Lyijyliivejä ei saa pitää suorassa voimakkaassa auringonvalossa eikä kuumassa (esimerkiksi patterin päällä), koska lämpö voi vaurioittaa niitä.

Lyijyä sisältävissä vartalon säteilysuojissa (suojaessut ja hame-liiviyhdistelmät) säteilyn läpäisy on tyypillisesti 0,5 %–5 % röntgenputken jännitealueella 10 kV–100 kV (11). Nykyisin yleistyneet lyijyttömät suojavaatteet saattavat suojata tehokkaammin röntgenputken jännitealueella 70–80 kV, mutta vähemmän tehokkaammin yli 100 kV jännitteillä (12). Kilpirauhas-suojan käyttö pienentää kilpirauhasen ekvivalenttiansiannosta tyypillisesti tekijällä 5–10 (13, 14). Hyvinistuvat sädesuojalasit pienentävät silmälinssin annosta tyypillisesti tekijällä 2–7 (15). Suojavaatteiden suojauskyvyn arviointi pelkästään lyijyekvivalenssin avulla voi olla harhaan johtavaa, koska fotonisäteilyn vaimeneminen riippuu suuresti fotonien energiasta.



Kuva 3.2. Henkilökohtainen vartalon säteilysuoja ja kilpirauhasuoja päälle puettuna. Yläkuvassa vasemmalla lyijyhame-liiviyhdistelmä, keskellä yksiosainen suoja-asu, ja oikealla kaksiosainen suoja-asu, jossa lisäsuojat kainalon rintarauhasen alueelle. Kaksiosaisen suojan väliin ei saa jäädä rakoa ja alaosan tulee olla tarpeeksi pitkä, jotta se ylettyy polvien päälle. Alakuvassa erilaisia sädesuojalaseja. Kuvat: Kirsi Vinni-Lappalainen ja Tuomas Rissanen, Siun sote.

### 3.3 Kiinteiden ja liikuteltavien säteilysuojien käyttö

Kiinteitä ja liikuteltavia säteilysuojia ovat alasirontasuoja (kuva 3.3), yläsirontasuoja (kuvat 3.3 ja 3.5) ja liikuteltava säteilysuojaseinä (kuva 3.4).

Kattokiskoon kiinnitetty yläsirontasuoja on laitettava täysin kiinni potilaaseen, jotta se suojaa potilaan ja suojan välistä tulevalta potilaasta siroavalta säteilyltä. Suositeltavaa on myös, että yläsirontasuojan alareunassa on suojausta tehostavat lamellit. Toimenpidepöydässä kiinni oleva alasäteilysuoja suojaa henkilökunnan alavartaloa alhaalta tulevalta säteilyltä (kuva 3.3). Yläsirontasuoja voi pienentää kardiologin pään ja kaulan alueen ekvivalenttina nosta tekijällä 2–10 (16).

Sairaanhoitajan toteuttama potilashoito tulisi tapahtua pääasiassa silloin, kun lääkäri ei läpivalaise tai kuvaa. Hoitajan ollessa hoitamassa potilasta, lääkärin tulee odottaa kunnes hoitaja siirtyy pois röntgenputkien läheisyydestä. Kuuluvalla äänellä suoritettu kommunikaatio on tärkeää, jotta turhalta säteilyaltistukselta vältytään. Potilashoitajan ja steriilisti pukeutuneen avustavan hoitajan on hyvä siirtyä siirrettävän lyijylasiseinän taakse aina, kun potilas ei tarvitse hoitotoimenpiteitä tai lääkärin työskentely ei vaadi välittömästi avustajaa. Esimerkiksi automaattiruiskua käytettäessä myös toimenpidelääkäri voi siirtyä säteilysuojaseinän taakse. Lyijylasiseinän takaa hoitaja pystyy tarkkailemaan potilaan vointia monitoreilta sekä seuraamaan kuvauksia. Potilashoitajan tulee nähdä myös potilaan kasvot ja kuulla häntä koko toimenpiteen ajan. Liikuteltavat säteilysuojaseinät on hyvä siirtää niin, että ne suojaavat myös silloin, kun hoitaja työskentelee anestesiapöydän luona selin läpivalaisulaitteisiin päin.



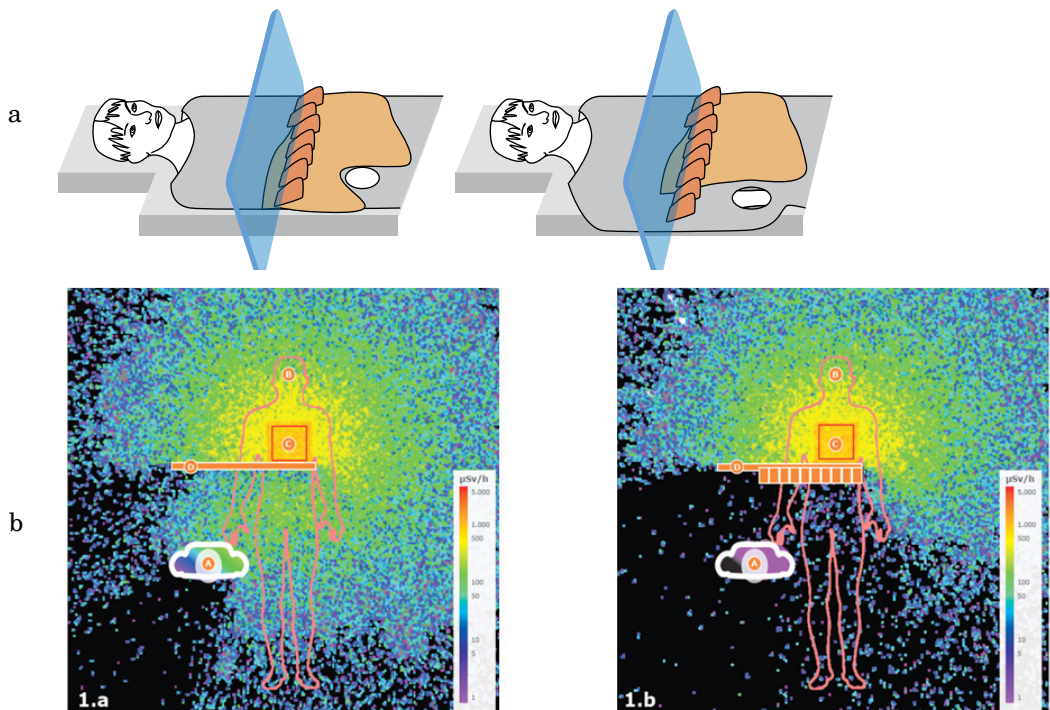
Kuva 3.3. Kuvia varjoainekuvaussalista, jossa kattoon kiinnitetty lyijylasiseinä kiinni potilaassa. Alasirontasuoja suojaa potilasta pöydän alta tulevalta siroannalta. Avustaja on mahdollisimman kaukana säteilylähteestä. Oikealla olevassa kuvassa kiinteä säteilysuojaseinä, jonka taakse potilashoitaja ja tutkimusta seuraavat henkilöt voivat mennä kuvausten ajaksi.

Kuva vasemmalla: Tuomas Rissanen, Siun sote. Kuva oikealla: Timo Mäkelä, OYS.





Kuva 3.4. Liikuteltava säteilysuojaseinä TAVI-toimenpiteessä (ks. kohta 3.9.2). Kuva: Timo Mäkelä, OYS.



Kuva 3.5. a) Muotoillut reisivaltimon ja rannevaltimoreitin lisäsirontasuojat. b) Huolellinen sirontasuojan asettelu vähentää toimenpiteen tekijän annosta. Vasemmalla sirontasuoja ei ole täysin kiinni potilaassa. Oikealla sirontasuojassa on alalamellit, jotka estävät säteilyn sirontaa. Yleinen virhe on, että yläsäteilysuojalasi sijoitetaan röntgenputken suuntaan, vaikka toimenpiteentekijän saama sironta tulee potilaasta ja sitä voidaan estää asettamalla sirontasuoja täysin kiinni potilaaseen.

Kun suunnitellaan uusia toimenpidesaleja, kiinteiden säteilysuojaseinien ja liikuteltavien säteilysuojaseinien käyttömahdollisuudet kannattaa harkita huolellisesti. Käyttökelpoisin tekninen ratkaisu ei välttämättä ole samanlainen kaikissa tapauksissa. Liikuteltavien säteilysuojaseinien optimaalinen aseointi päivittäisessä käytössä tulisi suunnitella sirontakartan avulla (kuva 3.10). Pienetkin raot säteilysuojaseinien järjestelyssä voivat muuttaa oleellisesti suojausvaikutusta. Jos angiohuoneen ovi joudutaan toimenpiteen aikana pitämään auki, säteilysuojaus oven suuntaan on hoidettava liikuteltavan säteilysuojaseinän avulla.

Toimenpidesaleja uusittaessa voi ohjaushuoneeseen ja toimenpidesaliin hankkia myös ns. ison monitorin kuvan näyttäviä kopionäyttöjä (kuva 3.6). Säteilyn käyttöön liittyvän äänisignaalin käytön (pelkän valosignaalin lisäksi) on havaittu vähentävän henkilökunnan säteilyaltistusta, koska sen avulla säteilyn käyttö pystytään havaitsemaan vaikka ei oltaisi katsekontaktissa kuvausalueeseen (17).



Kuva 3.6. Ohjaushuoneeseen sijoitettu ison monitorin kopionäyttö vähentää ylimääräisten henkilöiden tarvetta tulla toimenpidesaliin esimerkiksi konsultointitilanteessa. Kuva: Timo Mäkelä, OYS.

### 3.4 Erikois- ja kertakäyttösuojaimet

Steriilit potilaan vatsalle sijoitettavat liikuteltavat suojaimet vähentävät potilaasta tulevaa sirontaa vaikuttamatta potilaan säteilyannokseen (kuva 3.7). Kertakäyttöinen lisäsuoja on vuositasolla kallis investointi, joten joissakin keskuksissa sama suoja käytetään useita kertoja varjoainekuvauksissa laittamalla se steriiliin suojapussiin. Lisäksi on erityisiä monikäyttöiseksi suunniteltuja, steriiliin suojapussiin aseteltavia sirontasuojia. Tahdistin- ja TAVI-toimenpiteissä vaadittava korkeampi steriliteetti edellyttää uuden steriilin suojan käyttöä jokaisessa toimenpiteessä.

Steriilejä kertakäyttöisiä säteilysuojahansikkaita voidaan käyttää erityisesti tahdistin-toimenpiteissä, mikäli olkalaskimo punktoidaan läpivalaisuohjauksessa ja kädet ovat lähellä primaarikenttää. Toimenpidelääkärin tulee tällöinkin välttää lyijyhanskoilla suojattujen käsien pitämistä kuvakentässä, koska angiolaitteen automatiikka nostaa tällöin säteilyannosta. Säteilysuojahansikkaiden haittana on lisäksi kallis hinta ja jonkin verran tavallisia steriilejä

hansikkaita huonompi operatiivinen tuntuma. Erittäin käyttökelpoinen tapa tehdä suonipunktiot on käyttää apuna ultraääniohjausta, jolloin ionisoivan säteilyn käyttö ja suojahansikkaiden tarve vältetään kokonaan.



Kuva 3.7. Yläsirontasuoja täytyy laittaa täysin kiinni potilaan vatsaan, jotta se vähentää potilaasta siroavaa säteilyä mahdollisimman tehokkaasti. Alalamellit yläsirontasuojassa tukkivat mahdolliset pienet suojien väliin jäävät raot. Lisäsirontasuojana monikäyttöinen sirontasuoja, joka on laitettu steriiliin muovipussiin. Oikealla rannereittiä ja vasemmalla nivusvaltimoreittiä varten erikseen muotoiltu sirontasuoja. Ylimääräinen alasuoja (tumman harmaa) ehkäisee röntgenputkesta avustajaa kohti tulevaa säteilyä. Kuvat: Tuomas Rissanen, Siun sote.



Kuva 3.8. Säteily on voimakkainta röntgenputken puolella, joten esimerkiksi suoraa sivuprojektiota käytettäessä röntgenputki kannattaa kääntää vastapuolelle (detektori toimenpiteen tekijän puolella). Suoraa sivuprojektiota on hyvä välttää, ellei se ole välttämätöntä esimerkiksi oikean sepelvaltimon tai laskimosiirteen aorttaostiumin pallolaajennuksessa. Kuva: Kirsi Vinni-Lappalainen, Siun sote.



### 3.5 Etäisyyden ja kuvaussuuntien hyödyntäminen

Henkilökunnan säteilysuojelun kannalta merkittävintä on röntgenputkesta ja potilaasta siroava säteily. Tämän suuruuteen vaikuttavat etäisyys röntgenputkeen ja käytettävät kuvaussuunnat.

Säteily on voimakkainta röntgenputken puolella röntgenputken vuotosäteilyn ja pöydästä ja potilaasta sironneen säteilyn vuoksi ja sen takia detektori on aina parempi pitää toimenpiteen tekijän puolella (kuva 3.8 ja liite 3). Röntgenlaite on säädetty siten, että koko primaarikentän säteily osuu kuvailmaisimelle ja kuvailmaisimella vaimentaa säteilyn voimakkaasti. Näistä syistä henkilökunnan on turvallisinta pysyä kuvailmaisimen puolella.

Yksi keskeisimmistä toimenpiteistä, jolla voidaan omaa säteilyannosta vähentää, on etäisyyden kasvattaminen säteilylähteeseen, sillä säteily vaimenee voimakkaasti etäisyyden funktiona etäisyyden neliölain mukaisesti. Kaksinkertainen etäisyys pienentää henkilön saaman annoksen neljänteen osaan ja kolminkertainen etäisyys yhdeksänteen osaan (kuva 3.9). Tämän takia tutkimuksen suorittajan ja henkilökunnan on sijoitettava mahdollisimman kauaksi röntgenputkesta, kun säteilyä käytetään. Toimenpidelääkärin säteilyannos on aina suurempi kuin avustavalla henkilökunnalla. Säteilyn käyttöä tulisi välttää, kun potilashoitaja on röntgenputken vieressä. Potilashoitaja ilmoittaa kuuluvalla äänellä aikoessaan lähestyä potilasta esimerkiksi lääkintää varten, jotta toimenpidelääkäri voi keskeyttää säteilyn käytön. Toimenpidelääkäri ei aloita kuvaamista uudelleen ennen kuin hoitaja on siirtynyt pois potilaan ja röntgenputken välittömästä läheisyydestä. Ainoa poikkeus on potilaan vitaalielintoimintojen turvaaminen tai painantaelvytys ja tilanne, jossa toimenpidettä on jatkettava potilaan välittömän ennusteen parantamiseksi.



Kuva 3.9. Etäisyyden kasvattaminen säteilylähteeseen pienentää henkilökunnan annosta. Jo yksi askel taaksepäin potilaasta voi pienentää annosta neljänneksen. Kuvassa potilashoitaja, joka lääkitsee potilasta tutkimuksen kuluessa. Kuvat: Tuomas Rissanen, Siun sote.

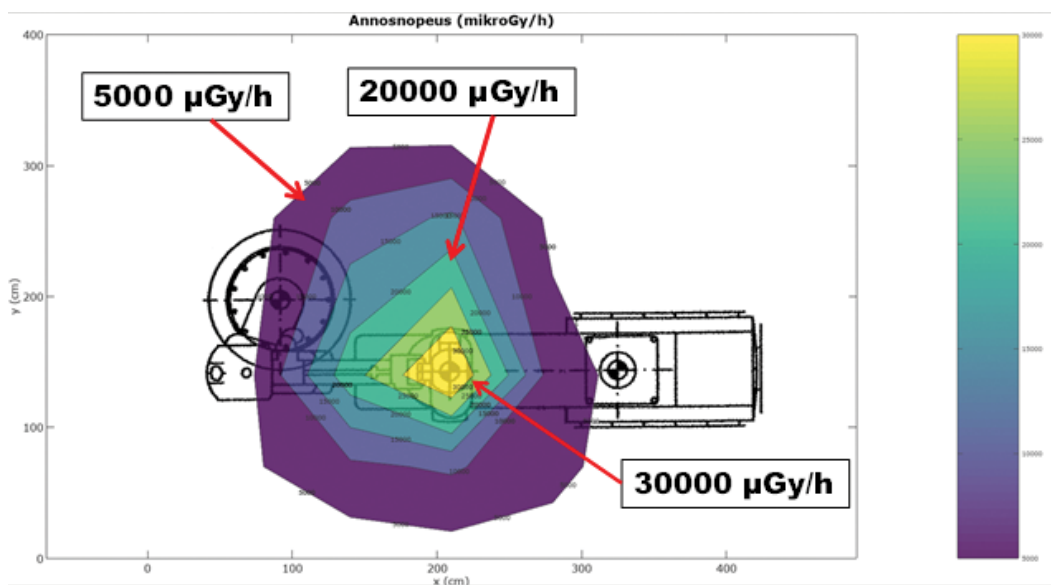
### Etäisyyden merkitys (etäisyyden neliölaki)

Etäisyyden kasvattaminen säteilylähteeseen kaksinkertaiseksi vähentää säteilyannoksen neljännesosaan.

$$\text{Säteilyannos} \sim 1/(\text{etäisyys})^2$$

Tutkimuspöytä nostetaan mahdollisimman korkealle säilyttäen kuitenkin riittävä työergonomia. Sen lisäksi, että potilaan ihoannos pienenee, potilaasta hoitohenkilökuntaan siroava säteily vähenee.

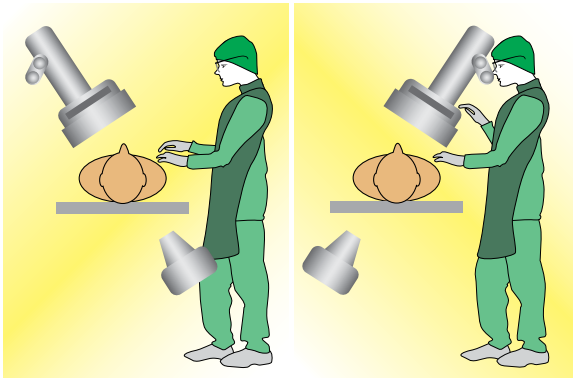
Kuvaussuunnat valitaan mahdollisimman optimaalisesti sekä toimenpiteen suorittamisen helppouden ja potilasturvallisuuden että henkilökunnan säteilysuojelun kannalta. PA- ja RAO-suunnat ovat säteilysuojelullisesti parempia, koska potilaaseen absorboitunut ja siroannut säteily toimenpiteen suorittajan kohdalle ovat vähäisempiä (ks. kuva 3.11 sekä kohta 4.6). LAO-suunnissa sironta jakautuu niin, että toimenpidelääkärin silmäannos on suurin (kuva 3.11).



Kuva 3.10. Esimerkki sirontakartasta. Tyypilliset sydäntoimenpiteissä käytetyt kuvausarvot, pöydän korkeus: 102 cm, kenttäkoko 20 cm x 20 cm, mittauskorkeus: 125 cm, läpivalaisuaika/mittaus: 10 s. Kuva: Petro Julkunen, KYS.

Kun säätöhuone on oikein rakennettu, henkilökunta ei altistu säätöhuoneessa lainkaan säteilylle. On suositeltavaa, että henkilökunta, jonka ei ole välttämätöntä olla tutkimushuoneessa, poistuu säätöhuoneen puolelle tai vähintään siirtyy säteilysuojaseinän taakse. Tämän lisäksi hyviin käytäntöihin kuuluu, että jokainen yksikkö tekee omalle tutkimushuoneelleen mitauksiin perustuvat sirontakartat (kuva 3.10). Tyypillisiä toimenpiteitä vastaten mitatut sätei-

lyn *sirontakartat* auttavat ymmärtämään sironneen säteilyn jakaumaa toimenpidehuoneessa ja henkilökunnan säteilyannoksen kannalta kriittisimpiä olosuhteita. Mittaustulosten avulla voidaan myös optimoida liikuteltavien suojien paikka. Myös huoneen ulkopuolella annostaso kannattaa tarkastaa, varsinkin jos ovi joudutaan pitämään auki. Tarvittaessa oven eteen voidaan sijoittaa liikuteltava säteilysuoja, mutta se ei saa hankaloittaa liikkumista huoneeseen ja sieltä pois.



Kuva 3.11. RAO-kallistus (oikealla) on sekä toimenpiteen suorittajan että potilaan säteilysuojelun kannalta parempi. LAO-kallistuksessa (vasemmalla) toimenpiteen tekijän silmät altistuvat suuremmalle määrälle sironnutta säteilyä.

### 3.6 Säteilysuojelu erityistilanteissa kuten elvytyksen aikana

Potilaan verenkierron tai hengityksen muuttuessa kesken toimenpiteen riittämättömäksi, on aloitettava elvytystoimenpiteet. Elvytyksen alkuvaiheessa painantaelvytys aloitetaan käsin. Yleensä kuvaus- ja pallolaajennustoiminta keskeytetään painannan ajaksi useinkin syyn takia. Ensinnäkin detektori on käännettävä syrjään ja pöytää myös laskettava tehokkaan painelun aikaansaamiseksi. Lisäksi painantaelvitystä antava henkilö on hyvin lähellä säteilylähdettä ja hänen kätensä ovat primaarikentässä rintakehän päällä. On myös huomattava, että tarkkuutta vaativa pallolaajennustoiminta on käytännössä lähes mahdotonta käsinpainantamisen aikana ja huomattavasti tavanomaista hankalampaa myös automaattisen painantalaitteen toimiessa. Yleensä kuvaaminen keskeytetään myös potilaan intubaation ajaksi, ellei pallolaajennustoitminnan jatkaminen ole välttämätöntä potilaan hengen pelastamiseksi. Ventiloijan on hyvä olla mahdollisimman kaukana röntgenputkesta ja mielellään kuvailmaisimen puolella, jossa säteilyannos on pienempi, mikäli käytössä ei ole ventilaattoria.

Verenkierron palautumisen jälkeen painanta keskeytetään ja hoitohenkilökunta siirtyy etäämmäksi säteilylähteestä, mielellään säteilysuojaseinän taakse. Ulkopuolisen elvytysryhmän jäsenten on pukeuduttava vierailijoille tarkoitettuihin säteilysuojiin ennen kuin toimenpidettä voidaan jatkaa säteilyä käyttäen. Selkeä kommunikaatio tiimin jäsenten välillä auttaa välttämään turhaa työntekijöiden säteilyaltistusta ja myös lyhentää potilaan ennusteeseen vaikuttavia viiveitä paineluelvytyksessä ja pallolaajennustoimenpiteen jatkamisessa.

Automaattisen painantalaitteen (esim. Lucas2™ tai Zoll Autopulse™) käyttö on suositeltavaa, kun sydäntutkimuksen tai -hoidon aikana ajaudutaan elvytystilanteeseen (kuva 3.12).

Laite mahdollistaa elvytyksen aikaisen pallolaajennustoiminnan, painanta on käsillä tehtyä painantaa tehokkaampaa, kone on väsymätön ja henkilökunta voi seurata laitteen toimintaa ja toimenpidettä etäältä suojien takaa. Laitteen käytön aikana kuvauskulmat ovat kuitenkin rajoitettuja ja röntgenpositiiviset osat tulevat väkisinkin kuvauskenttään nostoen säteilyannosta. Joskus laite saattaa aiheuttaa myös sähköisiä häiriötä kuvaan. Lisävarusteena saatava hiilikuituinen taustalevy läpäisee röntgensäteitä. Se kannattaa laittaa verenkierroltaan epävakaaan potilaan alle jo ennen toimenpidettä, jolloin laite saadaan nopeasti toimintaan. Erityistilanteissa voidaan harkita myös siirtymistä automaattisesta painantalaitteesta ECMO-hoitoon, jolloin mm. vältetään painantalaitteen aiheuttama hankaluus pallolaajennustoimenpiteen suorittamisessa.



Kuva 3.12. Automaattinen paineluelytyslaite Lucas harjoitustilanteessa. Laite mahdollistaa painantaelvytyksen aikaisen pallolaajennustoiminnan ilman elvyttävän hoitohenkilökunnan saamaa säteilyaltistusta. Käyttökelpoiset kuvaussuunnat ovat pelkästään kaudaali- ja kraniaalisuunnat. Kuva: Tuomas Rissanen, Siun sote.

### 3.7 Säteilysuojelu tahdistin- ja vajaatoimintatahdistinasennuksissa

Tahdistintoiminta poikkeaa sepelvaltimotoimenpiteissä oleellisesti steriliteettivaatimusten suhteen, koska tahdistin on pysyvä implantti ja sen infektoituminen on potentiaalisesti hengenvaarallinen tila. Tämän takia säteilysuojelutoimenpiteet eivät saa vaarantaa toimenpidehygieniää, mutta säteilysuojelu on yleensä helppo optimoida vaarantamatta steriliteettiä. Tahdistinimplantaatioita on aiemmin tehty myös leikkaussaliolosuhteissa käyttäen liikuteltavia C-kaarilaitteita. Leikkaussalissa tehtävät tahdistinimplantaatiot ovat jäämässä historiaan.

Säteilyannokset tavallisten 1- tai 2-lokeron sydämen tahdistinten (VVI ja DDD-tyyppiset) asennuksissa ovat tyypillisesti huomattavasti pienempiä kuin pallolaajennustoiminnassa. Sen sijaan vajaatoimintatahdistintoimenpiteissä (CRT) vasemman kammion elektrodin asentaminen saattaa olla toisinaan huomattavan haastavaa, läpivalaisuaikat pitkiä ja säteilyannokset siksi suurehkoja. Potilaan ja toimenpidetiimin säteilyannosta voidaan olennaisesti pienentää varsin yksinkertaisilla toimenpiteillä myös tahdistintoimenpiteissä.

#### 3.7.1 Tahdistinasennukset

Tahdistinasennuksessa toimenpiteen tekijä (toimenpidelääkäri) ja instrumenttihoitaja ovat lähempänä röntgenputkea kuin sepelvaltimotoimenpiteissä (kuva 3.13). Potilashoitaja ja avustava hoitaja voivat olla liikuteltavien tai kiinteiden säteilysuojien takana kuten sepelvaltimotoimenpiteissäkin. Potilaan rintakehä on lähempänä toimenpidelääkäreitä kuin sepelvaltimotoimenpiteissä lisäten potilaasta siroavaa säteilyä. Tahdistimet asennetaan yleensä vasemmalle puolelle solisluun alapuolelle.

Kuvakentän rajaamista voidaan käyttää samalla tavoin kuin pallolaajennustoimenpiteissä (kuva 3.14). Potilaan pään ja alaraajojen alle kannattaa laittaa säteilysuojaliina. Toimenpidepöydän pätyyn kannattaa myös laittaa roikkuvat lamellisuojat, jotka estävät röntgenputkesta siroavaa säteilyä sivuille ja päädystä (kuva 3.16).

Kainalolaskimopunktio (v. axillaris) voidaan helposti tehdä ultraääniohjatusti ilman ionisoivaa säteilyä (kuva 3.13). Ultraäänikuvaus antaa punktion aikana myös syvyysinformaation sekä vieressä kulkevan kainalovaltimon kulkureitin suhteessa laskimoon toisin kuin läpivalaisun käyttö. Ultraääni paljastaa punktion mahdollisena komplikaationa syntyvän hematooman, joka voi myös komprimoida punktoitavaa laskimoa. Läpivalaisuohjauksessa tehtävässä punktiossa toimenpidelääkärin kädet ovat lähellä primaarikenttää ja saattavat varsin helposti myös vahingossa ajautua sinne.

Tavallisessa tahdistinasennuksessa eteis- ja kammioelektrodien paikalleen viemisessä riittää yleensä matala pulssinopeus (3,75/s tai 7,5/s) ja matala kuvanlaatu. Läpivalaisuaika on tyypillisesti 2–10 min, eikä kuvasarjoja tarvitse ottaa lainkaan.





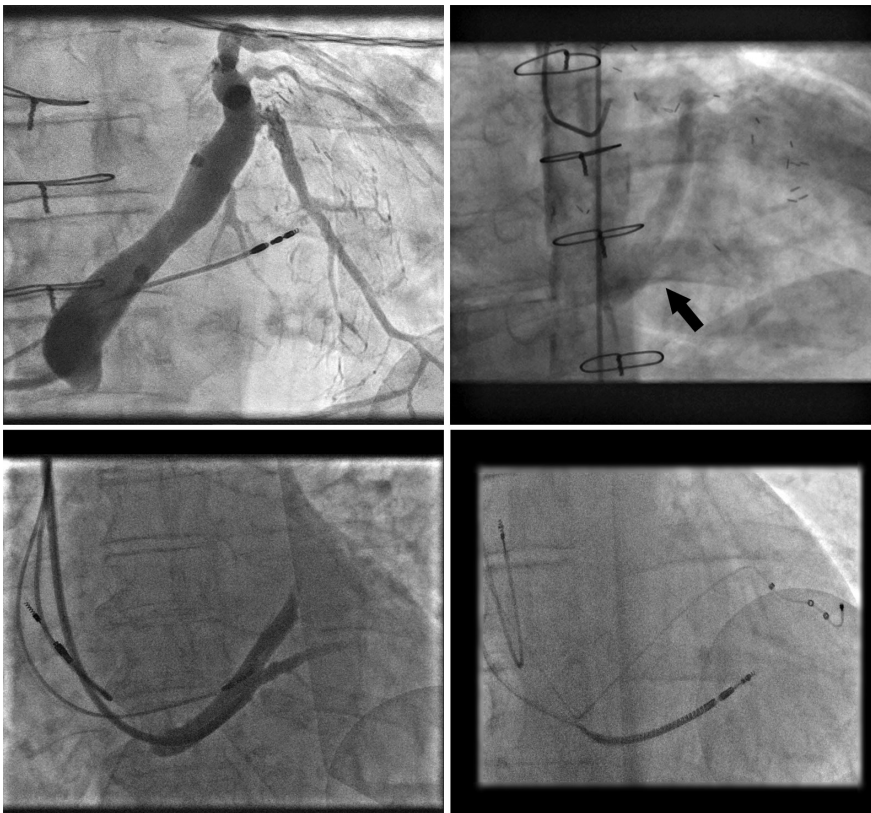
Kuva 3.13. Sydämen tahdistimen asennus. Ylhäällä: ultraääniohjattu laskimopunktio tahdistinasennuksissa vähentää ionisoivan säteilyn käyttöä. Alhaalla: steriili vismuttisuoj (Radpad) vähentää potilaasta siroavaa säteilyä. Yläsirontasuojaa ei voida käytännössä käyttää, koska se estää pääsyn tahdistinhaavan seutuun. Suojalasien huurtumista voi estää käyttämällä huurteenestoinetta ja suunenämaskia, jossa on lasien huurtumista estävä rakenne. Kuvat: Tuomas Rissanen, Siun sote.

### 3.7.2 Vajaatoimintatahdistinasennukset (CRT)

CRT-asennuksissa vasemman kammion (LV) elektrodin paikalleen saaminen saattaa johtaa suuriinkin annoksiin ja pitkään toimenpideaikaan. Läpivalaisuaika vaihtelee 5–60 min välillä ja vastaavasti kokonaistoimenpideaika 45 minuutista useaan tuntiin. Tämän takia laskimopunktio- sekä eteis- ja kammioelektrodit on hyvä saada paikalleen ripeästi ja ”säästää” toimenpide- ja läpivalaisuaikaa LV-elektrodin asentamiseen. Toimenpidevälineiden ja -tekniikoiden kehittyminen on vähentänyt viime vuosina huomattavasti CRT-asennusten vaikeutta ja läpivalaisuaikoja. CRT-asennusta usein edeltävässä sepelvaltimoiden varjoainekuvauksessa kannattaa tehdä pitkä kuvaus AP-suunnasta, jossa näkyy usein erittäin hyvin koronaarisinuksen lähtökohta

ja usein myös kohdelaskimohaarat (kuva 3.14). Tällöin läpivalaisu- ja toimenpideaika lyhenee eikä koronaarisinuksen venografiaa yleensä tarvita.

CRT-asennuksissa toimenpide voidaan yleensä tehdä lähes kokonaan AP-suunnasta ja ainoastaan tarkistaa elektrodien optimaalinen sijainti käyttäen RAO30-40 ja LAO30-40 kalistuksia. CRT-asennuksissa voidaan käyttää steriiliä kertakäyttöistä vismuttisuoja potilaan toimenpidepuolen rintakehällä estämään potilaasta siroavaa säteilyä (kuva 3.13). Kuvasarjoja ei useinkaan tarvitse ottaa vaan ne voidaan korvata tallentamalla viimeinen läpivalaisusarja. Ainoastaan koronaarisinuksen venografia okluusiopalloa käyttäen kannattaa yleensä tallentaa kuvasarjalla, koska parempi erotuskyky saattaa auttaa LV-elektrodin asennuksessa ja lyhentää toimenpiteen kestoa (kuva 3.14).



Kuva 3.14. Ylhäällä vasemmalla: CRT-vajaatoimintatahdistinasennuksessa varsinainen palloangiografia sydämen laskimojärjestelmästä kannattaa yleensä tallentaa kuvasarjalla. Ylhäällä oikealla: Koronaarisinus ja suurimmat laskimosivuhaarat näkyvät usein varsin hyvin myös pitkässä läpivalaisusarjassa, joka otetaan sepelvaltimokuvauksen yhteydessä. Alhaalla vasemmalla: toimenpiteen yhteydessä voidaan ohjainkatetrilla ruiskuttaa varjoainetta ja tallentaa läpivalaisukuvasarja, jolloin sopivan sivuhaaran paljastuessa varsinaista palloangiografiaa ja kinekuvausta ei tarvita usein lainkaan. Alhaalla oikealla: Loppukuva johdoista voidaan tallentaa läpivalaisukuvasta. Kuvat: Tuomas Rissanen, Siun sote.

### 3.8 Säteilysuojelu elektrofysiologisissa tutkimuksissa ja katetriablaatiossa

Sydämen elektrofysiologisen toimenpiteen tarkoitus on selvittää sydämen sähköinen anatomia, potilaan rytmihäiriön mekanismi ja ablaatiolla arpeuttaa rytmihäiriötä ylläpitävä rakenne sydänlihaksesta.

Elektrofysiologisissa toimenpiteissä riittää yleensä huomattavasti vähäisempi kuvanlaatu kuin esimerkiksi sepelvaltimoiden varjoainekuvauksissa. Elektrofysiologisten tutkimusten säteilyn käytön tarve jakautuu karkeasti kolmeen vaiheeseen:

1. katetrien kuljetus nivuslaskimon tai -valtimon kautta sydämeen ja katetrien asettelu sydämen sisällä
2. diagnostisten signaalien kartoittaminen sydänlihaksesta lepotilassa ja rytmihäiriön aikana
3. ablaatiokatetrin ja sen käyttöön liittyvien ohjainkatetrien liikuttelu.

Säteilyn käyttöön vaikuttavan teknisen suoritustavan perusteella toimenpiteet voi myös jakaa

1. tavalliseen ("perinteiseen")
2. elektroanatomista kuvantamista käyttävään
3. (magneetti)navigaatiolaitteistoa ja elektroanatomista kuvantamista käyttävään toimenpiteeseen.

Katetria käsin ohjattaessa toimenpiteen tekijä istuu tai seisoo potilaan oikealla puolella reiden kohdalla. Toimenpiteen tekijän säteilyannoksen vähentämiseen on olennaista käyttää potilas-pöydän reunakaiteeseen kiinnitettävää helmasuojaa, jonka yläreunassa on hyvä olla potilaan etupinnan yläpuolelle nouseva suojasiipi. Lamellisuojat potilaspöydän sivuilla täydentävät helmasuojan antamaa sirontasuojaa. Kattokiinnityksellä oleva yläsirontasuojia kulmahahloineen on aseteltava mahdollisimman lähelle toimenpiteen tekijää niin, että yläsirontasuojan ja reunakaiteen helmasuojat ovat limittäin. Näin aseteltuna toimenpiteen tekijä on täysin sirontasuojassa lukuun ottamatta lähellä potilaan nivustaivetta olevaa vasenta kättä.

Potilaan säteilyannoksen vähentämiseksi on hyvä käyttää suojaliivin hameosaa ja kilpi-  
rauhassuojaa.

#### 3.8.1 Perinteinen elektrofysiologinen toimenpide (EFT)

Toimenpide tehdään tavallisesti kuljettamalla 1–5 tutkimuskatetria nivuslaskimosta sydämeen. Katetrien uitto alaonttolaskimoa (IVC) pitkin oikean eteisen (RA) tasolle pyritään tekemään ilman läpivalaisua, mutta joskus nivusen ja lantion alueen suonihaaraumat pyrkivät ohjaamaan katetrin jumiin pieniin haaroihin, jolloin läpivalaisuohjaus on välttämätön. Tyypillisesti käytetään matalaa annostasoa ja harvaa pulssitasoa 2–4 p/s. Sydämen sähköisen anatomian perusselvittelyssä sijoitellaan katetrit oikean eteisen yläosaan (HRA), trikuspidaaliläpän (TV) yläreunaan, oikean kammion kärkeen (RVA) ja sepellaskimoon (CS). Yleensä aloituksesta tähän vaiheeseen tarvitaan läpivalaisuaikaa 30 s–3 min.

Tavallisimmat perinteisesti abloittavat rytmihäiriöt kohteineen ovat eteis-kammiosolmukkeen kiertorytmi AVNRT (hitaat säikeet TV/CS välisellä kannaksella), eteis-kammio-kiertorytmi AVRT (oikorata hiippaläpän tai TV:n annuluksessa) tai tyypillinen eteislepatus FLA (IVC/RA välisellä kannaksella). Ablatiokohteen kolmiulotteiseen hahmottamiseen tarvitaan usein



läpivalaisua RAO 30–LAO 30-60 -suunnista. On olennaista pitää detektoria mahdollisimman lähellä potilasta, jolloin siroava säteily vähenee ja sydän on paremmin kuvakentässä.

AVNRT- ja AVRT-ablaatiossa voi tarvita nopeampaa pulssitaajuutta, 7,5–15 p/s katetrin liikkeen hahmottamiseksi ablaatiiovirran (lämmityksen) aikana. Nopean rytmihäiriön tai laajan hengityksen aikana voi ablaatiokatetri heilahtaa vaurioittamaan eteiskammiosolmuketta tai muuta väärää kohdetta; nopeampi kuvataajuus auttaa reagoimaan nopeammin. Joskus tarvitaan ”muistilapuksi” tallennettavia lyhyitä kuvasarjoja, mutta usein viimeisen läpivalaisukuvan tallennus (LIH) riittää eikä varsinaista kuvasarjaa tarvita. Läpivalaisuaika ablaatiovaiheessa on hyvin vaihteleva, tavallisesti 30 s–20 min. Usein kuvakenttä voidaan rajata varsin tiukasti kun sähköisen informaation perusteella tiedetään kohdealue tarkasti.

FLA-ablaatiossa läpivalaisuaika voi olla keskimäärin pidempi kuin AVNRT/AVRT-ablaatiossa, koska kohdealueen lihas on paksumpaa ja lämmityspisteitä tarvitaan useampia. Täsäkin rajausta voidaan tehdä tiukasti.

### **3.8.2 Elektroanatominen elektrofysiologinen toimenpide**

Elektroanatominen EFT perustuu kartoituskatetrin kolmiulotteisen (3D) paikan visualisointiin tietokoneavusteisesti. Katetrin kärjen elektrodien paikan reaaliaikainen seuraaminen perustuu eri laitteilla magneettikentän, katetrin mittaaman impedanssin tai matalan sähkövirran erilaisiin yhdistelmiin. Katetria liikuttelemalla voidaan tietokoneen ruudulle muodostaa 3D-malli tutkittavasta sydämen lokerosta tai sydänpussitilasta. Tekniikan yhtenä etuna on läpivalaisun tarpeen huomattava väheneminen. Kun katetri on luotettavasti saatu vapaaseen tilaan sydämen sisälle, voidaan katetria liikutella muodostuvan 3D-mallin ja katetrasta saatavan sähköisen signaalitiedon avulla ilman läpivalaisua. Tekniikkaa käytetään eteisvärinä-ablaatiossa (PVI), kammiotakykardian (VT) ablaatiossa ja eteisten hankittujen nopealyöntisyyksien (AT) ablaatiossa. Elektroanatomisen kuvantamisen ansiosta useita tunteja kestävä toimenpiteen läpivalaisuaika voi helposti jäädä alle 10 minuutin. Läpivalaisua tarvitaan kuitenkin turvatekijänä sisäänviejäkatetrin asennon tarkastamiseen ja sydämen seinän puhkaisun riskin vähentämiseen. Markkinoille tulevat tukikatetrit, joissa myös on visualisointiominaisuus, tulevat entisestään vähentämään läpivalaisun tarvetta.

### **3.8.3 Navigaatiolaitteistoa käyttävä elektroanatominen toimenpide (RMT-EFT)**

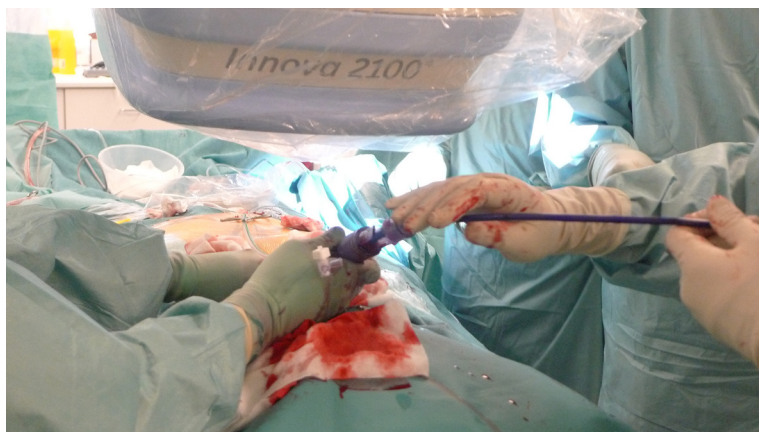
Suomessa on kaikissa yliopistosairaaloissa käytössä magneettinavigaatiolaitteisto. Sen periaatteena on katetrin liikuttelu sivusuunnissa tietokoneohjatusti potilaaseen kohdistetun 0,1 T magneettikentän summavektoria kääntelemällä. RMT-katetri on hyvin pehmeä eikä se voi painua sydämen seinämän läpi. Katetrin eteen-taakse-liike toteutetaan pistopaikan seudussa olevalla servomoottorilla. Katetrin asettelun jälkeen toimenpiteen tekijä jatkaa työtä säätöhuoneessa olevan tietokoneen avulla eikä tarvitse säteilysuojasta. Potilaan säteilysuojauksia voidaan toteuttaa kuten käsin tehtävässä toimenpiteessä.

Tyypillinen läpivalaisuaika pitkässäkin toimenpiteessä on alle 5–10 minuuttia. On huomattava että detektori on pidettävä melko kaukana (yl. > 30 cm) potilaasta jottei magneettikenttään tule liiallista häiriötä. Etäisyyden pakollinen suurentaminen heikentää kuvanlaatua ja lisää sirontaa.

### 3.9 Säteilysuojelu TAVI- ja MitraClip -toimenpiteissä

#### 3.9.1 Yleistä

Aorttaläpän asentaminen katetritekniikalla (Transcatheter Aortic Valve Implantation, TAVI) ja hiippaläppävuodon korjaus katetritekniikalla (esim. MitraClip-toimenpide) ovat moniammattillisia toimenpiteitä, joiden säteilysuojelua yhdistää moni asia ja joilla on tietyt erot muuhun kardiologiseen toimintaan verrattuna. Henkilökuntaa on katetriläppätoimenpiteissä enemmän ja lisäksi tarvittavien laitteiden määrä on suurempi anestesiavalmiuden vuoksi. TAVI- ja MitraClip-toimenpiteissä mukana olevasta henkilökunnasta osa työskentelee pääsääntöisesti muualla kuin säteilyaltistusta aiheuttavassa työssä, mikä tuo oman haasteensa salityöskenteelyyn ja edellyttää riittävää toimipaikkakoulutusta. Lisäksi laitteiden ja lisäpyytien aiheuttama sekundaarinen sironta on tavanomaista suurempaa. Sen vuoksi salin arkkitehtuuri on suunniteltava huolella, jotta henkilökunnan saama säteilyaltistus kyetään pitämään mahdollisimman pienenä. Myös käytetty toimenpidereitti voi luoda omat haasteensa. Sydämen kärjen (TA-TAVI) tai nousevan aortan (Tao-TAVI) kautta asennettavassa aorttaläpässä sekä toimenpide- että avustavan lääkärin kädet ovat suuren osan ajasta primaarikeilassa (kuva 3.15).



Kuva 3.15. Nousevan aortan kautta asennettavassa aorttaläpässä sekä toimenpide- että avustavan lääkärin kädet ovat suuren osan ajasta primaarikeilassa. Kuva: Markku Eskola, TAYS Sydänsairaala.

Selkeän kommunikoinnin merkitys korostuu katetriläppätoimenpiteissä. Tulee tilanteita, jolloin anestesiatiimillä on tarve lääkittää potilasta toimenpidepöydän välittömässä läheisyydessä tai korjata kanyyliä asentoa steriilien peittelyiden alla. Joskus toimenpidepöydän reunoille laitetun lyijyhelman jokin liuska on kuvausputken päällä, jolloin henkilökuntaa on toimenpidepöydän alla korjaamassa säteilysuojan asentoa. Näissä tilanteissa on vaarana tarpeeton henkilökunnan säteilyaltistus, koska toimenpiteen tekijä ei välttämättä havainnoi kaikkia ympärillään tapahtuvia asioita keskittyessään itse toimenpiteeseen. Mahdolliset vaaratilanteet on kuitenkin helposti ehkäistävissä riittävän selkeällä kommunikoinnilla, jolloin vältetään läpivalaisun tarpeeton käyttö.

Potilaan säteilysuojauksessa noudatetaan normaalia tapaa (kohta 4.3, kuva 4.2).

### 3.9.2 Säteilysuojelu TAVI-toimenpiteessä

Koska toimenpidepöydän ympärillä liikkuu tavanomaista enemmän henkilökuntaa, on hyvä käyttää lyijylamelleja toimenpidepöydän ympärillä (kuva 3.16). Se mahdollistaa useimpien kuvauskuulmien käytön ja vähentää samalla altistumista röntgenputken vuotosäteilylle sekä röntgenputken puolelta tulevalle takaisinsironnalle.

Liikuteltavia säteilysuojaseiniä on oltava riittävästi (kuva 3.4). Niiden oikealla sijoittelulla pystytään suojaamaan anestesiahenkilökunta varsin hyvin. Jos läpän asentamisessa tarvitaan ylitahdistusta, tahdistin on sijoitettava niin, että hoitaja voi säätää sitä säteilysuojaseinän takaa.



Kuva 3.16. Lyijylamelleja toimenpidepöydän ympärillä TAVI-toimenpiteessä. Kuva: Markku Eskola TAYS Sydänsairaala.

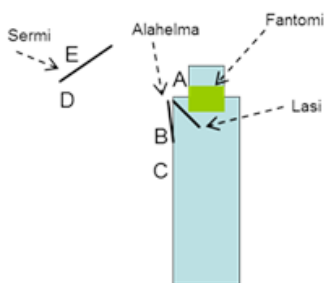
Instrumenttihoitajat ovat tottuneet leikkaussaleissa olemaan lähellä leikkauspöytää. TAVI-toimenpiteissä on useita hetkiä, jolloin instrumenttihoitajan läsnäolo lähellä toimenpidepöytää ei ole välttämätöntä. Sen vuoksi näkymättömän säteilyn haitallisuuden tiedostaminen on tärkeää, jotta muistetaan ottaa mahdollisimman suuri etäisyys säteilylähteestä. Liikuteltavia säteilysuojaseiniä kannattaa hyödyntää myös tässä tilanteessa.

TAVI-toimenpiteen huolellisen etukäteissuunnittelun yhtenä tärkeänä osana on määrittää aorttaläpän asentamisessa käytettävä työskentelyprojektio. Se voidaan selvittää esitutkimuksena tehdystä aortan tietokonetutkimuksesta. Silloin läpivalaisulaite voidaan laittaa toimenpiteen yhteydessä suoraan työskentelykulmaan, jossa aorttaläpän kaikki kolme purjetta ovat samassa tasossa. Tämän avulla vältetään turhat aortantyyven varjoainekuvaukset, joita muuten jouduttaisiin tekemään oikean työskentelysuunnan löytämiseksi. TAVI-toimenpiteessä ei juurikaan käytetä 3D-kuvausta tai sellaisesta käytännöstä ollaan pyrkimässä eroon.

Kuvasta 3.17 ilmenee, kuinka tärkeää on pyrkiä työskentelemään säteilysuojien takana. Ilman henkilökohtaista vartalon säteilysuojaa (kuvassa nimellä esiliina) säteilyaltistus on läpivalaisussa 11 ja kuvauksessa 17 kertaa suurempi kuin asianmukaiseen henkilökohtaiseen lyijyliiviin pukeutuneena. Lisäetäisyys säteilylähteestä vaikuttaa merkittävästi henkilökunnan

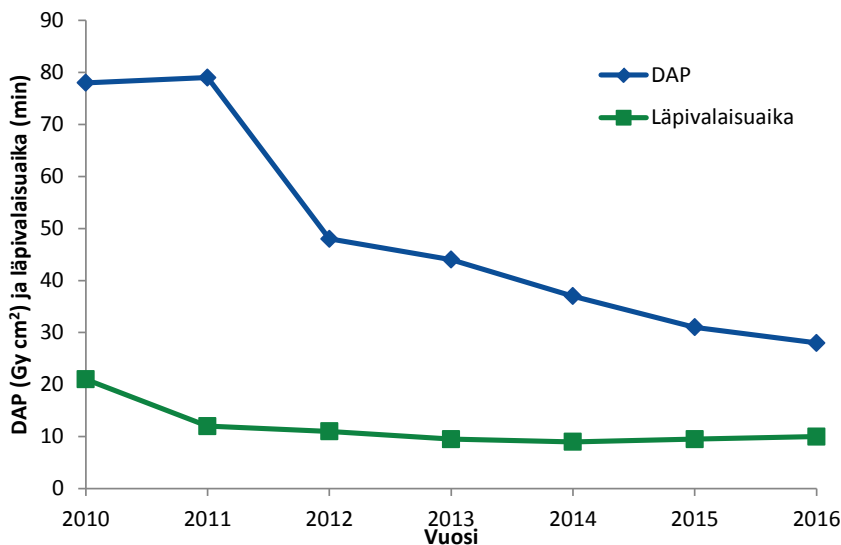
säteilyaltistukseen. Esimerkiksi instrumenttihoitajan säteilyannos laskee läpivalaisun aikana 60 % ja kuvauksen aikana 55 %, kun etäisyys säteilylähteestä pitenee 1,3 metristä 3,7 metriin. Säteilyaltistuksen suhteen sydämen kärjen ja nousevan aortan kautta tehtävä TAVI-läpän asennus on kaikkein epäedullisin. Sen vuoksi kuvasarjoja tulisi käyttää mahdollisimman vähän ja pyrkiä hyödyntämään läpivalaisua aina kun se vain on riittävän kuvanlaadun puolesta mahdollista. Myös säteilykentän rajausta ja erilaisten annossäästöohjelmien merkitys korostuu TA- ja Tao-TAVI:ssa.

Kuten kaikissa toimenpiteissä, myös TAVI-toiminnassa näkyy oppimiskäyrän vaikutus käytettyyn läpivalaisuaikaan ja potilaan säteilyannoksen suuruuteen (kuva 3.18).



	Läpi- valaisu μSv/h	Kuvaus μSv/h
(A) Sydänkirurgi, 0,5 m fantomista, ilman suojaa	3700	13500
- esiliinan (0,25 mmPb) takana	330	800
(B) Kardiologi, ilman suojia (0,8 m)	1500	5300
- alahelman takana	30	100
- alahelman korokkeen takana	40	120
- lasin takana (2 mmPb)	20	60
(C) Avustava hoitaja (1,5 m), ilman suojaa	440	1700
- esiliinan (0,25 mmPb) takana		50
(D) Anestesiahoitaja (tahdistin, 2,0 m), ilman suojaa	180	760
- esiliinan (0,25 mmPb) takana	30	70
(E) Anestesiaryhmä ilman suojia	150	490
- sermien takana	10	20

Kuva 3.17. Esimerkki TAVI-toimenpiteen annoksista ympäristössä ja suojien vaikutus altistumiseen. Testifantomina käytetty 25 cm vettä, läpivalaisuarvot: 80 kV, 19,5 mA, + 0,2 mm Cu, 15 f/s, kuvausarvot: 78 kV, 94 mA, 8 ms, + 0 mm Cu, 15 f/s.



Kuva 3.18. "Oppimiskäyrä" TAVI-toiminnassa. Kuva: Markku Eskola, TAYS Sydänsairaala.

### 3.9.3 Säteilysuojelu MitraClip-toimenpiteessä

MitraClip-toimenpiteessä tarvitaan harvoin muuta kuin PA-läpivalaisusuuntaa. Sen vuoksi toimenpidepöydän ympärille laitettu lyijyhelma soveltuu erityisen hyvin käyttäväksi näissä toimenpiteissä. Toimenpide pystytään tekemään riittävällä kuvanlaadulla pelkkää läpivalaisua hyödyntäen. Kuvasarjat voidaan korvata läpivalaisukuvan sieppausta (fluoro store) hyödyntämällä. Tutkimuksen suorittamisen tai dokumentoinnin kannalta se on tarpeen nostettaessa klipin pihdit (grippers) ylös, vietäessä klippi sen käsivarret (arms) avoimena vasempaan kammioon rotaation havaitsemiseksi sekä klipin vakauden varmentamiseksi sen irrottamisen jälkeen. Koska kuvauskulmaa ei **juuri** tarvitse muuttaa toimenpiteen aikana, kannattaa toimenpidepöytä nostaa niin korkealle kuin se on työskentelyn kannalta mahdollista ja laittaa kuvanvahvistin mahdollisimman lähelle potilasta.

MitraClip-toimenpiteessä ruokatorven kautta tehtävä sydämen ultraäänitutkimus on avainasemassa. Sen avulla reaaliaikaista ultraäänikuvaa hyödyntäen pystytään läpivalaisuaika minimoimaan niin transseptaalipunktion kuin klipin asemoinninkin aikana. Erityinen huomio tulee kiinnittää sydämen ultraäänitutkimusta tekevän lääkärin säteilysuojeluun. Asianmukaisen henkilökohtaisen säteilysuojauksen lisäksi toimenpidehuoneen kattoon voidaan asentaa ylimääräinen liikuteltava säteilysuoja, jonka suojassa ultraäänitutkimuksen tekeminen onnistuu varsin kätevästi (kuva 3.19).

Hiippaläppävuodon korjaaminen MitraClip-tekniikalla tehdään yleisanestesiassa. Anestesiahenkilökunnan säteilysuojaus onnistuu hyvin liikuteltavien säteilysuojaseiniä avulla (kuva 3.20). Ohjainkatetrin ja klipin valmisteluun tarvitaan erillinen lisäpöytä, jonka sijoittelulla on merkitystä vain sekundaarisen sironnan minimoimisen suhteen. Siten on eduksi lisäpöydän sijoittaminen mahdollisimman kauaksi säteilylähteestä.



Kuva 3.19. Ultraäänitutkimusta tekevän lääkärin säteilysuojaus MitraClip-toimenpiteessä. Henkilökohtaisten säteilysuojainten ja sädesuojalasien lisäksi voidaan hyödyntää lattialla liikuteltavaa säteilysuojaseinien ja kattokiskoihin kiinnitettyä yläsäteilysuojaa. Liikuteltavan säteilysuojaseinän liijylasin ja yläsäteilysuojan korkeutta säätämällä siroavan säteilyn määrä saadaan minimoitua. Kuva: Markku Eskola, TAYS Sydänsairaala.



Kuva 3.20. Anestesiahenkilökunnan säteilysuojaus liikuteltavien säteilysuojaseinien avulla MitraClip-toimenpiteessä. Kuva: Markku Eskola, TAYS Sydänsairaala.



### 3.10 Röntgentutkimukset kardiologisella vuodeosastolla, sydänvalvonnassa ja sydänteho-osastolla

Erityisesti sydänteho-osastolla ja sydänvalvonnassa tehdään röntgentutkimuksia liikuteltavilla kuvauslaitteilla. Yleisimpiä tutkimuksia ovat makuulla otetut keuhkokuvat. Osastoilla työskentelevä henkilökunta ei useinkaan ole saanut koulutusta säteilyaltistusta aiheuttavaan työskentelyyn. Osaltaan sen vuoksi on vaarana muodostua virheellisiä mielikuvia kyseisten tutkimusten haitallisuudesta osaston vakituiselle henkilökunnalle.

Taulukossa 3.2 on esitetty esimerkki tyypillisestä osastokuvauksena tehtävän keuhkokuvauksen aiheuttamasta säteilyannoksesta samassa tilassa oleskeleville suojaamattomille henkilöille. Vertailun vuoksi Suomessa taustasäteily vaihtelee normaalisti välillä 0,05–0,2  $\mu\text{Sv/tunti}$ .

Osastokuvauksiin tarkoitettujen röntgenlaitteiden aiheuttama säteilyannos on pieni ja siltä voidaan suojautua kokonaan, kun muistetaan ottaa riittävä etäisyys (yli 3–4 m) säteilylähteeseen. Näin toimien toistuvat keuhkokuvat osastoilla eivät aiheuta terveydellistä riskiä vakituiselle henkilökunnalle. Röntgentutkimuksen ottajan tuleekin varoittaa tutkimuksen ottamisesta selkeällä ja kuuluvalla äänellä sekä odottaa ennen kuvan ottamista, että henkilökunta on siirtynyt riittävälle etäisyydelle röntgenlaitteesta.

Taulukko 3.2. Esimerkki tyypillisestä osastokuvauksena tehtävän keuhkokuvauksen aiheuttamasta säteilyannoksesta samassa tilassa oleskeleville suojaamattomille henkilöille. Kone itsessään toimii säteilysuojana.

Etäisyys osastokuvauskohteesta	0,5 m	1 m	2 m	3 m	4 m
Typillinen annos ilman suojaa $\mu\text{Sv}$	2,3	0,5	0,1	0,04	0,02

### 3.11 Raskaana oleva työntekijä

Säteilytyötä tekevän naisen työ on raskauden toteamisen jälkeen järjestettävä siten, ettei sikiön säteilyannos ylitä 1 mSv, jolloin voidaan estää säteilyn satunnaisia haittavaikutuksia sikiölle. Lisäksi raskaana oleva nainen ei voi toimia luokan A säteilytyössä eli käytännössä hän ei voi työskennellä varjoainekuvaussalissa toimenpiteiden aikana. Raskaaksi tultuaan säteilytyötä tekevän työntekijän tulee ilmoittaa asiasta työnantajalleen tarvittavia järjestelyitä varten. Jos raskaana oleva työntekijä on vahingossa tai tietämättään ollut luokan A säteilytyössä, sikiön saama annos on todennäköisesti vähäinen ja voidaan laskennallisesti arvioida.

### 3.12 Vierailijoiden säteilysuojaus

Vierailijoilla tarkoitetaan tässä muita kuin kardiologisen yksikön omaa henkilökuntaa. Heitä ovat mm. laitevalmistajien edustajat, hoitajaopiskelijat, anestesia lääkäri ja elvytysryhmä. Vierailijoille tulee myös antaa ohjeet turvallista työskentelyä tai toimenpiteen seurantaa varten ja heidän käyttöönsä on varattava suojavälineitä. Heidät on mm. opastettava etukäteen lyijysuojien käyttöön ja neuvottava, missä on optimaalinen paikka toimenpiteen aikana. Erikoistilanteita kuten elvytystoimenpiteitä tulee myös säännöllisesti harjoitella.

## 4. Potilaan säteilysuojelu

Henkilökunnan säteilysuojelua on käsitelty edellisessä luvussa. Monet potilaan säteilysuojeluun liittyvät näkökohdat hyödyttävät kuitenkin myös henkilökunnan säteilysuojelua, ja potilaan säteilyannosta pienentävillä tekniikoilla pienennetään yleensä myös henkilökunnan säteilyannosta.

### 4.1 Tutkimusindikaatio ja säteilyannos

Oikeutusperiaatteen mukaan ionisoivaa säteilyä käyttävän säteilyn pitää olla lääketieteellisesti perusteltu. Sopivin sydäntutkimusmenetelmä täytyy valita huomioiden kliininen ongelma. Esimerkiksi sepelvaltimotaudin selvittelyssä potilaan riskitekijöiden mukainen ennakkotodennäköisyys sepelvaltimotaudille, ikä, paino ja pituus vaikuttavat sopivan tutkimusmenetelmän valintaan. Matalan ennakkotodennäköisyyden potilaan kohdalla voidaan harkita sepelvaltimoiden tietokonetomografiaa, kun taas korkean ennakkotodennäköisyyden potilas on hyvä tutkia suoraan kajoavalla sepelvaltimokuvauksella, jotta mahdolliset toimenpiteet voidaan tehdä saman tien ja vältetään kaksi peräkkäistä ionisoivaa säteilyä käyttävää tutkimusta. Erityisesti nuorilla ja raskaana olevilla potilailla (mm. akuutin keuhkoveritulpan liuotushoito, akuutin sydäninfarktin pallolaajennushoito ja tahdistimen asennus) täytyy tutkimuksen aiheuttama säteilyannos arvioida ja ottaa huomioon. Vaihtoehtoisia hoitomenetelmiä tulee punnita ja pohtia mahdollisuuksien mukaan toimenpiteen lykkäämistä synnytykseen jälkeiseen aikaan. Vanhuksilla ja monisairailta tutkimuksessa saatu säteilyannos ja stokastinen haittavaikutus (ks. liite 1, kohta L1.1) ei enää ole merkittävä asia suhteessa hoidettavaan sydänvikaan ja rajoitettuun jäljellä olevaan elinikään.

Tutkimus tai toimenpide	Tyypillinen DAP-arvo, Gy cm <sup>2</sup>	Vertailutaso (STUK 2016)
Sepelvaltimoiden varjoainekuvauks (CA)	22	30
Pallolaajennushoito (PCI)	64	75
Tahdistimen asennus (1 tai 2 lokeroa; ei CRT)	3	3,5
Eteisvärinän katetriablaatio	23	25
Katetritekniikalla tehtävä aorttabioläpän asennus (TAVI)	67	90

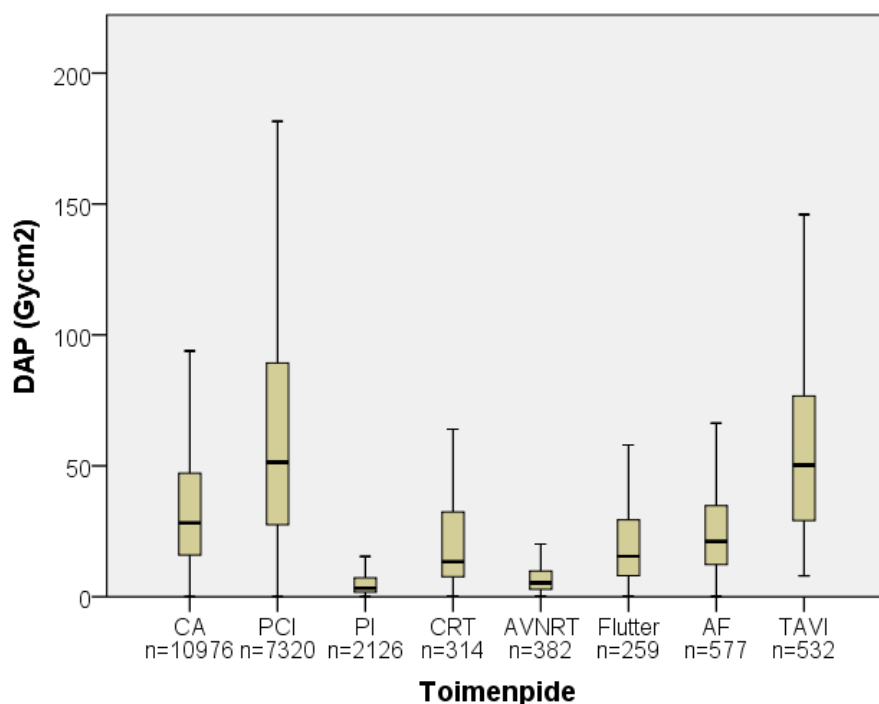
Viite: (18, 19)

Potilaan säteilyaltistuksen optimaalinen hallinta edellyttää tietoa eri toimenpiteiden tyypillistä annostasosta (tyypilliset läpivalaisun annosnopeudet ja kuvasarjojen annokset) ja siitä, mitkä tekijät annostasoihin vaikuttavat. Kuten seuraavista luvuista ilmenee, potilaan säteilyaltistukseen (potilasannokseen) vaikuttavat ensisijaisesti käytetty läpivalaisun ja kuvasarjojen määrä



sekä näissä haluttu kuvanlaatu ja aikaresoluutio eli pulssinopeus, toimenpiteen vaikeus sekä potilaan paino. Kuvasarjojen ja läpivalaisun annosnopeusero on tyypillisesti yli kymmenkertainen, mikä tarkoittaa varsin suurta eroa kuvasarjojen ja läpivalaisun kuvanlaadussa.

KARPO-projektissa vuosina 2014–2016 kerätyn aineiston perusteella potilaan säteilyannokset (DAP-arvot; ks. liite 2) eri kardiologisissa toimenpiteissä on esitetty kuvassa 4.1. Potilaan painolla ja toimenpiteen vaikeustasolla on usein suuri merkitys potilaan säteilyaltistukselle.



Kuva 4.1. KARPO-projektin aineisto sydäntoimenpiteiden potilasannoksista (18). Vaikeustasojen vertailu. CA: sepelvaltimoiden varjoainekuvaus, PCI: pallolaajennus, PI: 1- ja 2-lokeron tahdistin, CRT: vajaatoimintatahdistin, AVNRT: eteis-kammiosolmukkeen kiertorytmi, Flutter: eteislepatus ja AF: eteisvärinä. Laatikoilla on osoitettu DAP-arvojen jakauman 25 %, 50 % ja 75 % tasot ja janoilla maksimi- ja minimiarvot. Muutamia maksimi- ja minimiarvoistakin suuresti poikkeavat tulokset on jätetty kuvasta pois.

Ihon paikallisen säteilyannoksen ylittäessä ennalta sovitun rajan (esimerkiksi ihon suurin annos laitteen näytön mukaan 1,5 Gy tai DAP-arvo 150 Gy cm<sup>2</sup>, ks. tarkemmin kohta 4.14) olisi hyvä että avustava henkilökunta huomauttaisi asiasta toimenpidelääkärää. Tällöin toimenpidelääkärin tulee pohtia, onko toimenpidetekniikka, laitteen säätöjä (mm. pulssinopeus) tai kuvaussuuntia muuttamalla mahdollista vähentää potilaan saamaa annosta. Mikäli selkeitä toimenpiteitä säteilyn vähentämiseksi ei ole käytettävissä, toimenpidelääkärin tulee arvioida ylittääkö toimenpiteen jatkamisen kliininen hyöty mahdollisen riskin, joka aiheutuu potilaalle toimenpiteen jatkamisesta. Mikäli potilas on todennäköisesti menehtymässä tai vakavasti vammautumassa ilman onnistunutta sydäntoimenpidettä ja toimenpiteen onnistumisella voidaan tämä estää, toimenpidettä tulee luonnollisesti jatkaa. Jos kyse on elektiivisestä toimenpiteestä kuten kroonisen sepelvaltimon totaalityönsä avaamisesta, voidaan pohtia toimenpiteen jatkamista eri sessiossa erilaisella lähestymistavalla. Mikäli potilaan ihon saama säteilyannos lähentelee deterministiseen vaurioon riittävää säteilyannosta (ihon punoitus 2 Gy), on potilasta selkeästi informoitava asiasta ja sovittava tarvittavat jatkotoimenpiteet kuten kontrollikäynti ihon tarkistamiseksi 1–3 viikon kuluttua. Mikäli ihossa todetaan akuutti punoitusreaktio, kliininen kontrolli tulee järjestää 3 kk välein aina vuoteen saakka. Tarvittaessa konsultoidaan ihotautilääkärää.

Vaurio	Ihon annoksen kynnysarvo (Gy)
Varhainen ohimenevä punotus	2
Väliaikainen hiustenlähtö	3
Varsinainen punotus	6
Pysyvä hiustenlähtö	7
Kuiva hilseily	14
Ihon atrofiat	10
Verisuoniluomet ja telangiektasiat	12
Kostea hilseily	18
Myöhäinen punotus	15
Ihon kuolio	18
Sekundaarinen haavauma	24

### Tyypilliset hälytysrajat ihon deterministisen vaurion mahdollisuudelle PCI-toimenpiteessä

Ihon paikallinen annos (Gy)	DAP (Gy cm <sup>2</sup> )	D <sub>p</sub> <sup>*</sup> (Gy)
2,0	150	2
5,0	250	4

\* Annos referenssipisteessä

#### 4.2 Kuvausreitit

Sepelvaltimovarjoainekuvauksessa rannevaltimoreitti on potilaalle nivusvaltimoreittiä turvallisempi pienemmän verenvuotoriskin kannalta. Potilas pääsee myös heti toimenpiteen jälkeen jalkeille. Erikoistuvilla kardiologeilla on rannevaltimon kautta tehtävässä sepelvaltimokuvauksessa usein hiukan nivusreittiä pidempi läpivalaisuaika, mutta kokeneilla kardiologeilla eroa ei enää havaita (20). Ranteen kautta toimiessa voidaan steriilien peittojen alla oleva säteilysuoja nostaa korkeammalle vatsalle estämään sirontaa. Vasemmasta ranteesta kuvataan ohitusleikattuja potilaita vasemman rintavaltimosiirteen takia. Tätä reittiä käytettäessä toimenpidelääkäri joutuu kurkottautumaan potilaan päälle ja saa enemmän säteilyä kuin oikeaa rannevaltimoa tai nivusvaltimoa käytettäessä (20). Toimenpidelääkärin annos on oikeaa ranne- tai nivusreittiä suurempi myös, jos tutkimus tehdään oikean kyynärtaipeen valtimosta tekijän ollessa lähempänä röntgenputkea.

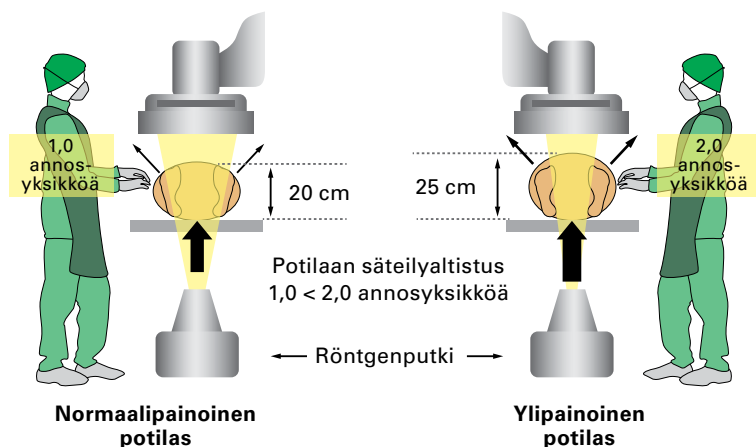
#### 4.3 Potilaan säteilysuojaus

Potilaan suojaaminen sepelvaltimoita kuvattaessa on haasteellista ja suojien käyttö ei saa estää diagnostisen informaation saantia. On suositeltava käyttää kuvien rajausta (ns. blendoja) ja varoa säteilysuojan joutumista primaarikenttään. Jos säteilysuoja (potilaan tai henkilökunnan, esim. lyijyhänsikkaat) joutuu primaarikenttään, laite muuttaa kuvausparametreja automaattisesti niin, että säteilysuojan peitossa olevasta kehon osasta saadaan mahdollisimman hyvä kuva ja tällöin potilaan säteilyannos nousee.

Potilaan pään alle laitettava suoja suojaa aivoja, silmiä ja kilpirauhasta. Patjan alle voidaan asettaa säteilysuojapeite, joka suojaa potilaan sukuelimiä ja henkilökuntaa alhaalta tulevalta sironnalta. Potilaan lantion päälle asetettava suojapeite puolestaan pienentää henkilökunnan säteilyaltistusta vähentämällä potilaasta henkilökuntaan siroavaa säteilyä (kuvat 3.7 ja 4.2), rannereittiä käytettäessä lannesuoja voidaan nostaa potilaan vatsalle saakka. Suojien tulee olla sellaisia, että ne vastaavat 0,5 mm lyijysekoitetta.



Kuva 4.2. Vasemmalla: Potilas valmiina steriiliä peittelyä varten oikean rannevaltimon kautta tehtävässä sepelvaltimokuvauksessa. Potilaan alavatsalle laitettu säteilysuojapeite peittää käsituen ja kuvauspöydän väliin jäävän raon vähentäen potilaasta siroavaa säteilyä ja siten henkilökunnan säteilyaltistusta. Oikealla: Potilas valmiina nivusvaltimon kautta tehtävää varjoainekuvausta varten. Potilaan päällä olevaa säteilysuojapeitettä joudutaan laskemaan hieman toimenpidealueen paljastamiseksi. Toimenpidepöydän alle on lisätty ylimääräinen alasäteily suoja (tummanharmaa) suojaamaan toimenpiteen avustajaa. Potilaan pään alla ja lantion alla on säteilysuojat suojaamassa potilaan kilpirauhasta, aivoja sekä sukuelimiä. Kuvat: Tuomas Rissanen, Siun sote.



Kuva 4.3. Suurikokoinen potilas saa aina enemmän annosta kuin laiha potilas ja tämän takia lihaviin potilaiden kohdalla säteilysuojelun optimointiin tulee kiinnittää tavanomaistakin enemmän huomiota ja potilaan annosta tulee seurata tutkimuksen aikana tarkemmin. Myös tutkimuksen tekijä saa ylipainoista potilasta kuvatessaan huomattavasti enemmän siroavaa säteilyä.

#### 4.4 Kuvaustekniikka, kuvausohjelmien valinta

Toimenpidelääkäriin tulee suunnitella sydäntoimenpide huolellisesti perehtymällä potilaan sairauskertomuksiin, haastatteleamalla potilas ja tekemällä huolellinen kardiovaskulaarinen tutkimus ja suunnittelemalla paras tutkimusreitti. Erityisesti aiempien varjoainekuvausten

kulku, välineet ja mahdolliset ongelmat tulee selvittää ennen tutkimusta. Mikäli potilas on ohitusleikattu, tulee ohitussiirteet selvittää. Tarvittaessa voi perehtyä kirurgin tekemään piirroksen, mikäli sellainen on saatavilla. Hyvällä valmistautumisella lyhennetään toimenpiteen kestoa, vähennetään komplikaatioriskiä ja vähennetään tutkimuksen säteilyaltistusta.

Toimenpidekardiologian periaatteisiin kuuluu, ettei välineitä yleensä liikutella verisuonissa ilman näkökontrollia tai poikkeavaa vastusta vastaan. Tämä koskee erityisesti potentiaalisesti komplikaatioita aiheuttavia liukkaita hydrofilisiä vaijereita tai jäykkiä toimenpideohjaimia, jotka voivat väkivaltaisesti tai sokkona käytettynä aiheuttaa vakavan komplikaation kuten suonon perforaatioon tai vaurioitumisen. Usein ei ole kuitenkaan välttämätöntä kuvata vaijerin ja katetrin liikuttamista koko kulkumatkalla sisään viejästä kohti sydäntä. Ajoittaisilla läpivalaisuilla voidaan toimenpidevälineiden kulku tarkistaa. Läpivalaisu voidaan usein aloittaa vasta, kun katetri on enää tietyn verran potilaan ulkopuolella. Mm. pallo- ja stentti-katetreissa on merkinnät, jotka osoittavat, milloin katetri lähestyy ohjainkatetrin suuaukkoa ja läpivalaisu on aloitettava. Ranteesta lähestyttäessä atraumaattisempi J-kurva ohjainvaijeri mahdollistaa läpivalaisun aloittamisen myöhempään kuin käytettäessä liukasta ohjailtavaa karaa. Epänormaalityltä vaikuttavaa vastusta tai muuta poikkeavaa koettaessa jatketaan tutkimusta luonnollisesti jatkuvalla läpivalaisulla.

Kun katse siirtyy pois monitorilta, myös läpivalaisu lopetetaan. Ennen kuvasarjan ottamista varmistetaan, että katetri on edelleen paikallaan, kuvakentän rajaaminen on tehty sopivasti ja ruiskussa on tarpeeksi varjoainetta, jotta vältetään turhan uuden sarjan ottaminen samasta kohteesta. Kuvasarjojen huonoa laatua ei tule hyväksyä diagnostiikan ja kuvien tarkkuuden kustannuksella. Sen vuoksi laadultaan suboptimaalinen kuvasarja tulee tarvittaessa uusiksi.

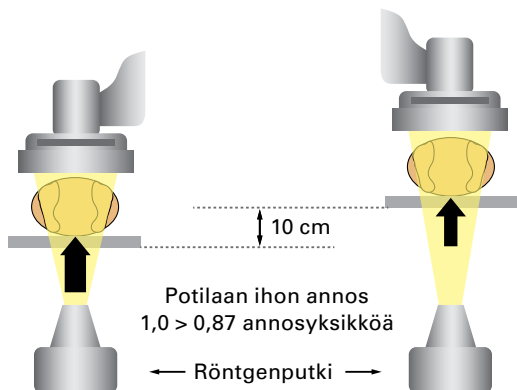
Kuvausohjelmien optimointi on tiimityötä, jossa on mukana laitetoimittaja, lääkäri, hoitaja sekä fyysikko. Optimoinnissa säädetään mm. pulssinopeudet, lisäsuodatuksot sekä annostasot. Ohjauspaneelin säätimistä löytyvät toiminnot voidaan räätälöidä sairaalaan sopivaksi. Kuvausprotokollat voidaan ohjelmoida niin, että annostaso on aluksia matala, mutta sitä tietoisesti nostetaan tarvittaessa.

Kuvausohjelmat tulee etukäteen optimoida soveltuviksi kuhunkin käyttötarkoitukseen kuten angiografiaan tai tahdistimen asennukseen. Usein riittää matalamman säteilyannoksen (ja tarkkuuden) asetus. Tarpeen mukaan läpivalaisun tehoa voidaan tilapäisesti nostaa, mikäli näkyvyys on liian heikko esimerkiksi potilaan obesiteetin takia. On hyvä, jos toimenpidelääkäri saa itse valittua ohjelman angiolaitteen käyttöpaneelist.

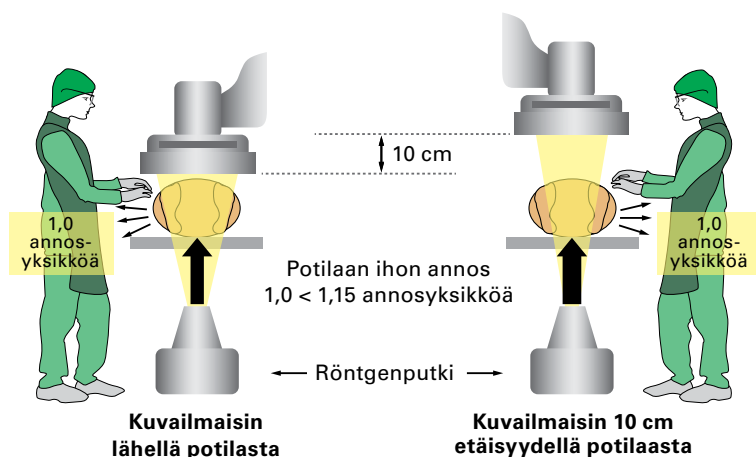
#### 4.5 Kuvailmaisimen ja röntgenputken sijainti

Läpivalaisussa käytetyn säteilyn maksimiannos on iholla röntgenputken puolella. Jotta pitkissä läpivalaisututkimuksissa välttyttäisiin ihovaurioilta, röntgenputken tulee olla mahdollisimman kaukana potilaan ihosta, käytännössä nostamalla pöytä mahdollisimman ylös, kuitenkin työergonomian kärsimättä tuki- ja liikuntaelinongelmien välttämiseksi (kuva 4.4).

Kuvanvahvistimen tulisi olla mahdollisimman lähellä potilasta, mikä parantaa sekä kuvanlaatua että vähentää potilaan saamaa annosta (kuva 4.5). Olisi hyvä, jos angiolaitteen automatiikka siirtää ilmaisimen mahdollisimman lähelle potilasta. Mikäli näin ei ole, myös avustavan henkilökunnan vastuulla on huomauttaa toimenpiteen tekemiseen keskittyvää kardiologia ilmaisimen siirtämisestä lähemmäksi potilasta.



Kuva 4.4. Tutkimuspöydän nostaminen mahdollisimman korkealle suurentaa potilaan ja ilmaisimen etäisyyttä röntgenputkesta. Potilaan saama pienienienerginen röntgensäteily vähenee. Tämä osa röntgensäteilyn spektristä on kuvanmuodostuksen kannalta turhaa, mutta nostaa potilaan saamaa ihoannosta. On kuitenkin huomioitava, että työergonomia ei saa kärsiä tutkimuspöydän nostamisen takia. Vasemmalla: detektori lähellä potilasta, pöytä ylhäällä. Oikealla: pöytä turhan alhaalla ja detektori kaukana. Kuvat: Kirsi Vinni-Lappalainen ja Tuomas Rissanen, Siun sote.



Kuva 4.5. Kuvailmaisoin on hyvä pitää mahdollisimman lähellä potilasta. Mitä kauempana ilmaisoin on röntgenputkesta, sitä enemmän säteitä röntgenputki joutuu tuottamaan saavuttaakseen riittävän kuvanlaadun ja potilaan saama säteilyannos nousee. Lisäksi kuvanlaatu huonontuu ilmaisimen ollessa kauempana. Avustajan tehtävä on huolehtia, että ilmaisoin on mahdollisimman kiinni potilaassa silloin, kun toimenpiteen tekijä keskittyy itse vaativaan toimenpiteeseen.

#### 4.6 Kuvaussuunnat

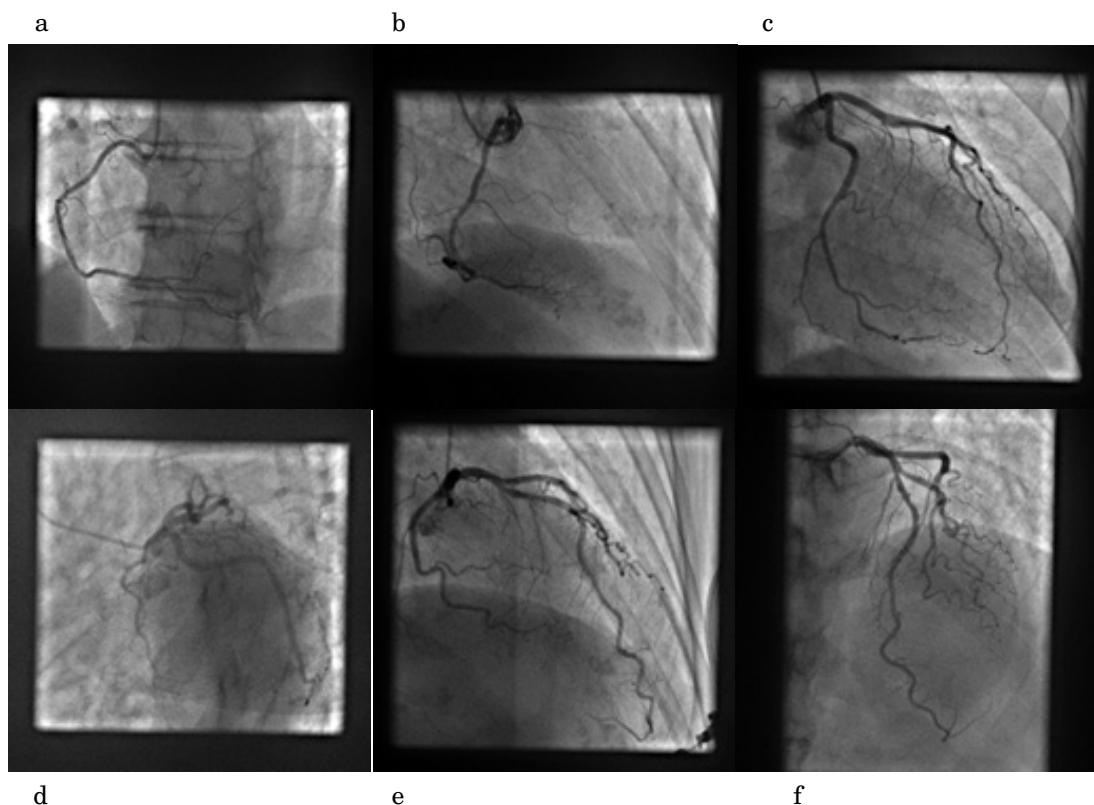
Vasemman sepelvaltimon eteen laskevalle haaralle (LAD), kiertävälle haaralle (LCX) ja oikealle sepelvaltimolle (RCA) on kaikille omat tyypilliset kuvaussuuntansa (kuva 4.6). Yleensä ahtauma on kuvattava kahdesta mielellään kohtisuorasta projektiosta, koska ahtauma voi olla eksentrisen ja näkyy kunnolla vain toisesta käytetyistä projektiosta (ahtauman eksentrisyyden vuoksi sepelvaltimo voi toisesta projektiosta näyttää normaalilta, jolloin vasta toinen projektiopaljastaa ahtauman; ks. myös liite 2, kohta L2.3).

Laitteen automaatiikka pyrkii pitämään ilmaisimelle tulevan säteilyn määrän ja siten kuvanlaadun vakiona. Mikäli röntgenputken ja ilmaisimen välissä on runsaasti kudosta esimerkiksi runsaan kallistuksen takia, röntgenputken on kasvatettava putken virtaa, jolloin potilaan annos kasvaa. Lisäksi putkijännite kasvaa, jolloin kuvan kontrasti heikkenee.

Esimerkiksi kun laite kallistetaan kulmaan LAO 45° (kuva 4.7), säteilyn kulkema matka normaalikokoisessa potilaassa pitenee noin 6 cm PA-projektion verrattuna. Jotta kuvanlaatu pysyisi samana, potilaan annos nousee noin nelinkertaisesti. Tämän matkalisäyksen takia myös suurikokoisen potilaan annos on normaalikokoiseen potilaaseen verrattuna suurempi.

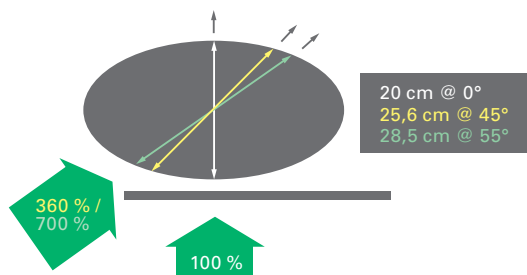
Sekä potilaan että toimenpidohenkilökunnan säteilysuojelun kannalta edullisempia ovat kuvaussuunnat, joissa ilmaisoin on toimenpidelääkärin puolella; 1) näissä suunnissa potilaan keuhkokudosta on enemmän kuvakentässä ja vähemmän säteilyä absorboivaa selkärankaa, 2) sirontaa tulee vähemmän toimenpidelääkärin suuntaan ja 3) ilmaisoin estää itsessään siroavaa säteilyä (kuva 4.8).





Kuva 4.6 Kuvassa nähdään sepelvaltimoiden tyypilliset kuvauskulmat. Tärkeää on pyrkiä kuvaamaan jokainen sepelvaltimo vähintään kahdesta, mahdollisuuksien mukaan toisiaan kohtisuoraan olevasta projektiosta. Oikea sepelvaltimo (RCA) on kuvattu projektiosta LAO 32 a) ja RAO 32 b). Vasen kiertävä sepelvaltimohaara (LCX) on kuvattu ensin RAO 20, CAUD 19 projektiosta c) ja sen jälkeen kuvauskulmasta LAO 52, CAUD 31 d). Vasemman eteen laskevan haaran (LAD) varjoainekuvat ovat suunnista RAO 38, CRAN 23 e) ja LAO 22, CRAN 31 f). Kuvat: Markku Eskola, TAYS Sydänsairaala.

Potilaan läpäisseen säteilyn annos potilaan pinnalla (iholla)



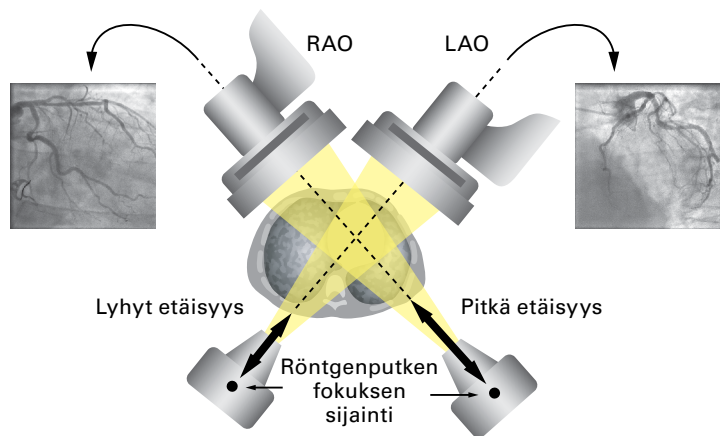
Potilaan pinnan (ihon) säteilyannos säteilyn tulosuunnassa

Kuva 4.7. Säteilyn kulkema matka pitenee, kun laite kallistetaan pois PA-projektiosta.

PA-suunta olisi kuvan laadun ja säteilysuojelun kannalta selvästi edullisin kuvaussuunta, koska silloin röntgensäteiden kulkema matka kudoksessa on mahdollisimman pieni. Ihmisen sepelvaltimoiden kulku on kuitenkin sellainen, että PA-suunnassa LAD ja LCX menevät päällekkäin ja oikeaan sepelvaltimoon tulee lyhentymää. Suora PA-projektio on käyttökelpoinen esimerkiksi toimenpiteen jälkeen viimeisenä dokumentoitavana suuntana, koska siinä näkyvät hyvän erotuskyvyn takia mahdolliset perforaatiot ja dissekaatiot parhaiten. Joskus erittäin lihavilla henkilöillä PA-suunta on ainoa käyttökelpoinen vaihtoehto tehdä toimenpide huonon näkyvyyden takia. Muillakin potilailla voidaan usein kallistuskulmaa vähentää ns. perinteisiin suuntiin nähden ilman, että anatominen informaatio kärsii ja suonet menevät päällekkäin.

Läpivalaisuautomatiikka pyrkii käyttämään matalaa jännitettä hyvän kontrastin saavuttamiseksi. Suurikokoista potilasta kuvattaessa laite nostaa röntgenputken jännitettä riittävän läpäisykyvyn saavuttamiseksi ja samalla kontrasti huonontuu. Samoin käy, jos käytetään suuria viistokulmia, jolloin kudossmassaa on röntgensäteiden kulkumatkalla enemmän. Suuret kallistukset lisäävät merkittävästi myös säteilyn kudosaabsorptiota lisäten potilasannosta ja huonontaan kuvan erotuskykyä. Suorissa sivuprojektioissa potilaan yläraaja tulee kuvakenttään nostamalla säteilyannosta. Mikäli jostain syystä pitkä toimenpide täytyy tehdä tällaisesta suunnasta, on harkittava potilaan käden nostamista niskan taakse.

Mikäli potilaalla on metallisia implantteja kuten tahdistin, on tärkeää pitää se kuvakentän reunalla. Jos implantti on kuvan keskellä, ilmaisimelle tuleva säteily vähenee ja automatiikka nostaa säteilyannosta.



Kuva 4.8. RAO-kallistukset ovat kuvanlaadun ja säteilysuojelun kannalta parempia kuin LAO-kallistukset, koska RAO-kallistuksessa kuvaan tulee enemmän hyvin röntgensäteilyä läpäisevää keuhkukudosta, kun taas LAO-kallistuksessa kuvaan tulee röntgensäteitä enemmän absorboivaa selkärankaa ja välikarsinaa. Lisäksi RAO-kallistuksessa röntgenputki on kauempana potilaan selästä kuin LAO-kallistuksessa.

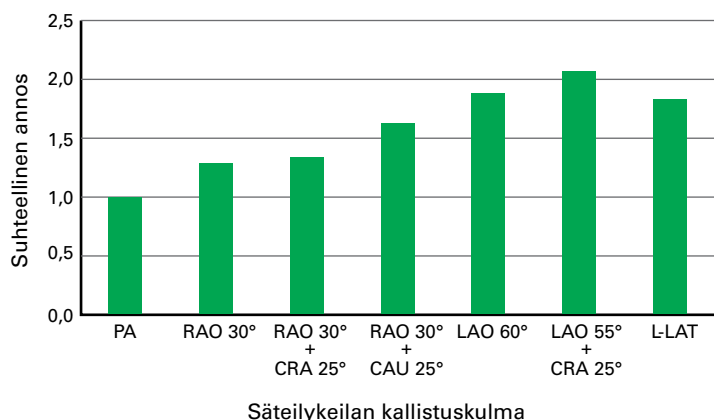
Joskus säteilysuojelullisesti epäedullisemmän suunnan käyttäminen saattaa vähentää kokonaisannosta, mikäli toimenpide saadaan nopeammin suoritettua. Esimerkkinä tästä on anatomisesti haastavan oikean sepelvaltimon etsiminen suorasta sivuprojektioista. Suoraa sivuprojektiota käytettäessä kannattaa (vastoin maalaisjärkeä) ilmaisain pitää toimenpidelääkärin puolella ja röntgenputki vastapuolella (RAO 90°), koska potilaasta siroavaa säteilyä tulee tällöin vähemmän toimenpiteen tekijän suuntaan.

Toimenpidettä suunniteltaessa on valittava optimaalinen toimenpidesuunta. Pallolaajennustoiminta tehdään usein käyttäen suuntaa, jossa kohdesuoni näkyy ilman lyhentymistä (siis mahdollisimman samassa tasossa kuvaussuunnan kanssa), ahtauma ja mahdolliset haaraumakohdat näkyvät mahdollisimman hyvin. Usein on kuitenkin löydettävissä vaihtoehtoisia toimenpidesuuntia ja niitä tulee harkita, mikäli joudutaan käyttämään suuria kallistuksia (taulukko 4.1). Potilaan ihoannos voi kasvaa vaarallisen korkealle pitkissä toimenpiteissä esimerkiksi kroonisten totaalitykusten avauksissa ja säteilyvauriot ovat mahdollisia, ellei kuvauskulmia muuteta toimenpiteen aikana (kuvat 4.9 ja 4.10).

Liitteessä 3 (kohta L3.20) on esitetty esimerkkejä suonten näkyvyydestä eri projektiolla ja tyypillisiä annosnopeuksia niiden käytössä.

Taulukko 4.1. Sepelvaltimoiden varjoainekuvauksessa käytettyjen vaihtoehtoisten kuvaussuuntien aiheuttama vähentävä vaikutus potilaan ja kardiologin säteilyannoksiin verrattuna tyypillisiin kuvaussuuntiin (21).

Kohde	Tyypillinen kuvaussuunta	Vaihtoehtoinen kuvaussuunta	Potilaan säteilyannoksen vähenemä	Kardiologin säteilyannoksen vähenemä
LAD = vasemman sepelvaltimon eteen laskeva haara, D1 = ensimmäinen diagonaalihaara, LCx = vasen kiertävä haara, RCA = oikea sepelvaltimo, LAO = vasemmalle kallistettu projektiio, RAO = oikealle kallistettu projektiio, PA = posteroanteriorinen (suora) projektiio, + = kranaalinen projektiio, – = kaudaalinen projektiio.				
Vasen kammio	LAO 60°/0°	LAO 40°/0°	40 %	60 %
Vasemman päärunгон tyvi	LAO 60°/–20°	PA 0°/+30°	69 %	88 %
Vasen päärunko	LAO 60°/–20°	PA 0°/0°	79 %	94 %
LAD:n B- ja C-osa	RAO 30°/+30°	RAO 30°/0°	57 %	63 %
LAD:n ja LADD1:n haarauma-kohta	LAO 60°/+20°	PA 0°/+30°	60 %	81 %
LCX	LAO 60°/0°	RAO 10°/–30°	28 %	75 %
RCA	LAO 60°/0°	LAO 30°/0°	40 %	66 %



Kuva 4.9. Kuvasuuntien vaikutus potilaan saamaan säteilyannokseen, kun verrokkina on PA-suunta. Suuret LAO-kallistukset (esim. spider eli hämähäkiprojektio) tuottaa yli kaksinkertaisen annoksen verrattuna PA-suuntaan suuren kudossmassan takia, jonka röntgensäteiden on läpäistävä päästäkseen ilmaisimelle. (L-LAT = suora sivuprojektio.)



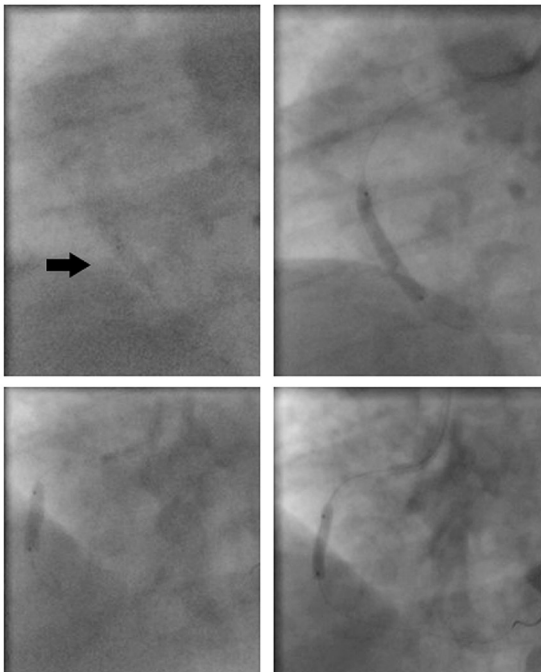
Kuva 4.10. Pitkän sepelvaltimon totaalityönnön avauttoimenpiteen aiheuttama säteilyvaurio potilaan selässä 2 viikkoa toimenpiteestä (vasemmalla) ja ihosiirtojen jälkeen (oikealla) Potilaan paino oli 104 kg ja pituus 171 cm. Säteilysannos (DAP) oli 2 234 Gy/cm<sup>2</sup> johtuen osittain myös toimenpiteen aikana tapahtuneesta katetrin katkeamisesta ja siihen liittyvistä lisäkuvauksista. Nykyaikaisilla angiografialaitteistoilla ja huolellisella säteilyhygienialla (kuvakentän rajaukset, kuvaussuunnan vaihtaminen, kuvasarjojen minimointi) suora säteilyvaurio on erittäin harvinainen. Kuva on julkaistu Kardiologian oppikirjasta (2016) kustannusosakeyhtiö Duodecimin luvalla.

#### 4.7 Läpivalaisun ja kine kuvauksen käyttö

Läpivalaisua käytetään liikuteltaessa katetreja kohti sydäntä, sepelvaltimoiden kanylointiin ja toimenpidevaijereiden, pallojen ja stenttien visualisoimiseksi sepelvaltimoissa. Tahdistinasen-  
nuksissa läpivalaisua käyttäen haetaan tahdistinelektrodeille sopiva anatominen paikka ja dokumentoidaan kiinnitysruuvien aukeaminen ja kiinnittyminen sydänlihakseen. Kuvassarjoja

eli ns. kinekuvausta tarvitaan sepelvaltimoiden varjoaineruiskutuksessa ja silloin, mikäli läpivalaisuun erotuskyky ei riitä. Kuvasarjan aiheuttama säteilyannos on moninkertainen, jopa kymmenkertainen verrattuna läpivalaisuun. Kuvasarjoja tulisi ottaa tämän takia harkitusti ja pitää ne mahdollisimman lyhyinä. Poikkeuksena on hitaasti näkyviin tulevien kollateraalivaltimoyhteyksien dokumentointi silloin, kun sepelvaltimon päähaara on tukossa. Pitkän kuvauksen vaatii myös sydämen laskimojärjestelmän kuvaaminen sepelvaltimoruiskutuksella tulevaa vajaatoimintatahdistustoimenpidettä varten, koska sydämen laskimot täyttyvät hitaasti.

Viimeisen läpivalaisuun tallennus on käyttökelpoinen tapa vähentää säteilyannosta (kuva 4.11). Useimmissa laitteissa voidaan tallentaa ainakin 30 s läpivalaisua 15 kuvaa/s kuvanopeudella. Esimerkiksi laajennuspallon avautumiskuva voidaan näin tallentaa ilman kuvasarjaa. Jos näkyvyys on heikko esimerkiksi potilaan obesiteetin takia tai epäillään pallon tai stenttipallon olevan vain osittain laajentunut kalkkisen plakin takia, pitää kuitenkin dokumentoida tilanne paremman erotuskyvyn kuvasarjalla (kuva 4.11). On muistettava, että liiallinen annosoptimointi esimerkiksi kuvasarjojen välttämisen takia ei saa vaarantaa potilaan terveyttä tai henkeä. Esimerkkeinä voidaan mainita sepelvaltimon pallolaajennuksessa huomaamatta jäävä merkittävä dissekaatio tai stentin puutteellinen avautuminen tai muu ongelma suonessa, joka voi pahimmillaan johtaa myöhemmin potilaan menehtymiseen. Tahdistustoimenpiteessä puutteellinen elektrodin paikan ja ruuvien avautumisen visualisointi voi aiheuttaa tahdistin-elektrodin irtoamisen ja uusintatoimenpiteen.



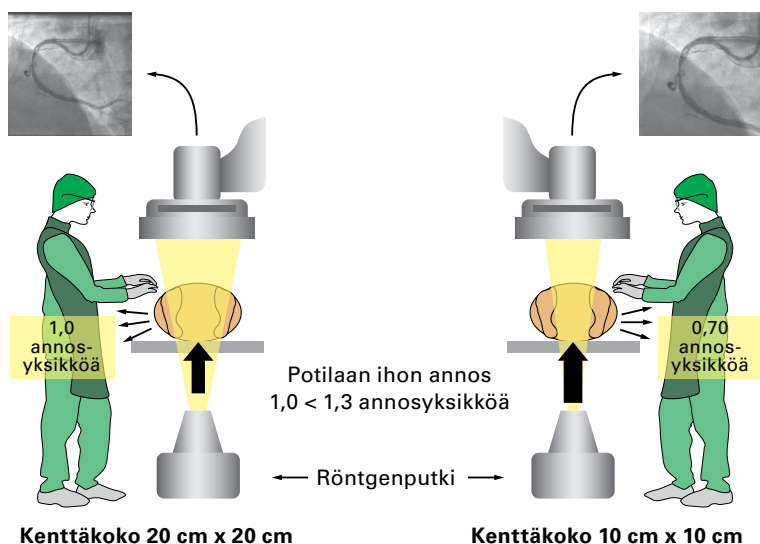
Kuva 4.11. Ylhäällä: 121 kg painavan miehen oikean sepelvaltimon pallolaajennustoimenpide. Vasemmalla: tallennettu läpivalaisukuva pallon aukeamisesta ei ole erotuskyvyltään riittävä. Nuoli osoittaa avatun pallon. Oikealla: kinekuvasa pallo näkyy selvemmin. Alhaalla: 86 kg painavan miehen pallolaajennustoimenpide. Vasemmalla: läpivalaisukuvassa pallon ääri viivat näkyvät riittävän hyvin, eikä suurta eroa kuvanlaadussa ole todettavissa verrattuna kinekuvaan (oikealla). Kuvasarjan aiheuttama säteilyannos on moninkertainen verrattuna läpivalaisuun, mutta toimenpiteen potilasturvallisuus on säilytettävä kaikissa tilanteissa. Huomaa, että esimerkeissä läpivalaisukuvan pallo on erimittainen kuin kuvasarjan pallo.  
Kuvat: Tuomas Rissanen, Siun sote.

#### 4.8 Kenttäkoot ja suurennoskentän käyttö

Suurempaa kenttäkokoa käytettäessä potilaan saama ihoannos pienenee. Sen sijaan toimenpidelääkärin saaman siroavan säteilyn määrä kasvaa (kuva 4.12)

Laite on säädetty siten, että kuvan laatu on hyvä suurimman kentän tapauksessa. Suurennoksia käytettäessä potilaan ihoannos kasvaa. Suurennoksessa pienempi kenttäkoko (pienempi tarkastelualue) on suurennettu koko näytön kokoiseksi ja kuvanlaadun säilyttämiseksi samanlaisena kuin suuren säteilykentän tapauksessa, säteilyn määrää on kasvatettava. Suurennoksia käytettäessä henkilökunnan annos yleensä pienenee, koska säteilykentän pinta-ala (ja siten sironta potilaasta) pienenee enemmän kuin kentän säteilyannos kasvaa, ja henkilökunnan säteilyannos on suoraan verrannollinen näiden tuloon eli DAP-arvoon.

Ohjattaessa välineitä kohti sydäntä kannattaa käyttää mahdollisimman suurta kenttäkokoa, esim. 25 cm x 25 cm, rajaten kenttää sopivasti. Kohteen kuvasarjoissa, esimerkiksi sepelvaltimoita kuvattaessa, kannattaa yleensä käyttää pienempää kenttäkokoa 20 cm x 20 cm, mutta kenttäkoko 25 cm x 25 cm on myös yleisesti käytössä. Joskus erittäin suuri sydän ei tähän pienempään kenttäkokoan mahdu. Laitteiden pienintä kenttäkokoa 15 cm x 15 cm tarvitaan harvoin, koska siihen ei koko sepelvaltimopuusto mahdu kerralla.



Kuva 4.12. Tarpeetonta suurennosten käyttöä tulee välttää, koska silloin potilaan säteilyannos kasvaa joskin toimenpidelääkärin annos pienenee. Suurennoksia voidaan käyttää joskus pallolaajennustoimenpiteissä, mutta niistä saatava lisäinformaatio on usein rajallinen.

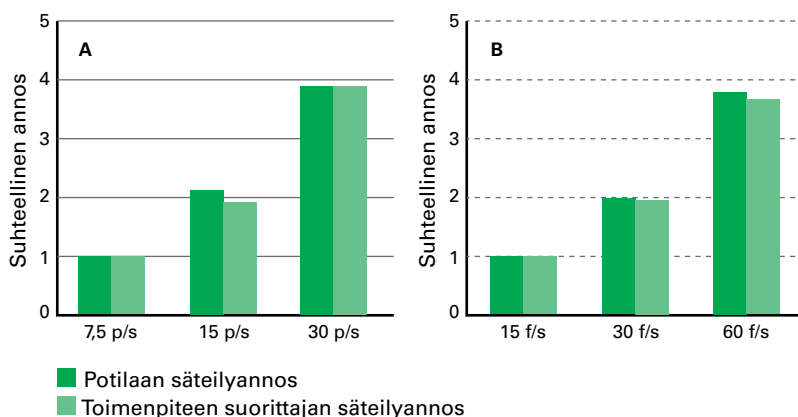
#### 4.9 Annos-, pulssi- ja kuvanopeuksien käyttö

Kardiologiassa käytetään usein ns. pulsoivaa säteilyä (liite 3). Tämä tarkoittaa sitä, että säteilyn päällä ollessa (kun kardiologi painaa poljinta) säteilyä ei kuitenkaan tuoteta jatkuvasti vaan lyhyinä pulsseina. Esimerkiksi yhdessä sekunnissa säteily voidaan tuottaa ja ottaa tuotto pois 15 kertaa, jolloin pulssinopeus on 15 p/s.



Pulsoivan läpivalaisun kuvataajuuden (pulssitaajuuden) vähentäminen 15:sta 7,5:een vähentää potilaan säteilyannosta jopa 50 % (kuva 4.13). Tahdistinasennuksissa riittää 3,75–7,5 kuvaa/s. Suurempaa tarkkuutta vaativissa sepelvaltimotoimenpiteissä ja vajaatoimintatahdistimen asennuksissa käytetään kuvataajuuksia 7,5–15 kuvaa/s. Sepelvaltimon kanylointiin riittää usein 7,5 kuvaa/s, mutta sepelvaltimoahtauksen vaijerointi ja pallolaajennus vaatii usein 15 kuvaa/s. Sepelvaltimokuvasarjat otetaan taajuudella 15 kuvaa/s. Nopean sydämen syketa-son aikana esimerkiksi lapsilla voidaan käyttää korkeampaa taajuutta 30 tai jopa 60 kuvaa/s liikeartefaktoiden vähentämiseksi. Kuvataajuutta on edullista tarvittaessa pystyä säätämään laitteen ohjauspaneelista toimenpiteen aikana.

Obeeseilla potilailla matalan pulssitaajuuden käyttö saattaa johtaa siihen, että laitteen automatiikka leventää pulssin leveyttä ja lisää röntgenputken virtaa johtaen siihen, ettei matalampi pulssitaajuus vähennäkään potilaan annosta.



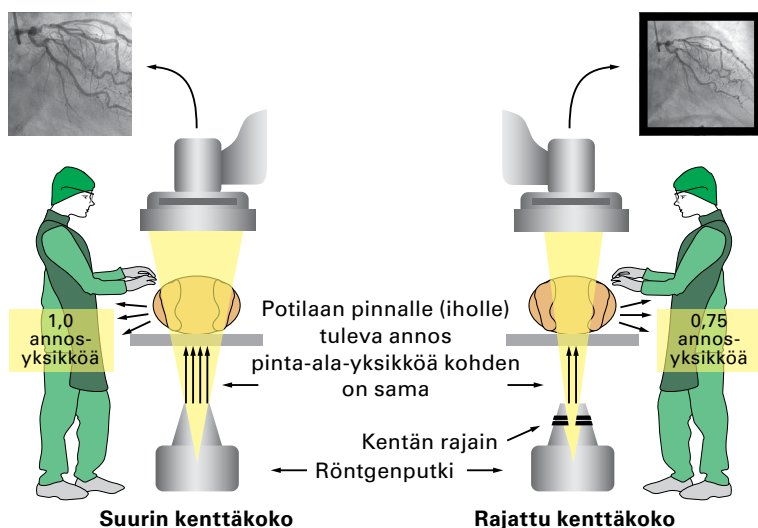
Kuva 4.13. Esimerkkikuva pulsoivan läpivalaisun A) ja kuvasarjojen B) kuvanopeudesta suhteessa potilaan ja toimenpiteen tekijän säteilyannokseen. Kuvanopeuden pienentäminen puoleen vähentää myös potilaan annosta puolella.

#### 4.10 Kuvakentän rajaaminen

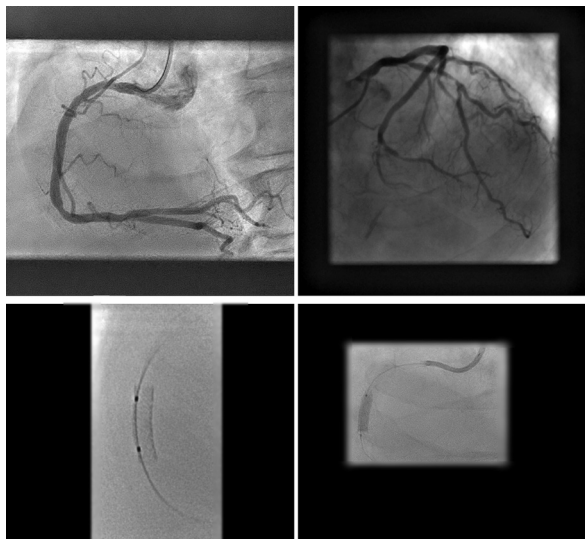
Kuvakentän rajaamisella vähennetään tehokkaasti siroavaa säteilyä ja sekä potilaan että toimenpiteen tekijän annosta. Kun kuvaa rajataan 25 % sekä vaak- että pystysuunnassa, vähenee kuvapinta-ala 50 %, samoin DAP-arvo ja potilaan ja toimenpiteen tekijän säteilyannos (kuva 4.14). Rajaaminen pienentää DAP-arvoa, mutta ei ilmakermää (ihon annosta; ks. liite 3). Periaate on se, että kuva-alue rajataan siten, että mitään muuta kuin mielenkiinnon kohde ei ole näkyvässä (kuva 4.15). Suunnistettaessa kohti sydäntä rajataan kuvakenttä hiukan liikkeen suunnan mukaisesti, esimerkiksi nivusesta lähestyttäessä kenttä voi olla hieman korkeampi kuin leveä, jotta vaijeri ja katetri pysyvät pidempään kuvakentässä.

Rajaaminen parantaa myös kuvan kontrastia ja erotuskykyä, koska potilaasta siroava hajasäteily ilmaisimelle vähenee. Rajaaminen vähentää myös ylivalottuneiden alueiden, kuten keuhkon, aiheuttamaa kontrastin heikentymistä. Rajaamisesta on hyvä käyttää erityisesti silloin, kun mielenkiinnon kohde on pienellä alueella, esimerkiksi kun vaijeroidaan tai laajennetaan

ahtaumaa. On kuitenkin tärkeää, että kuvaa ei rajata liikaa esimerkiksi silloin, kun suonen kuva-alueen ulkopuolella komplikaation syntyminen on mahdollista tai on jo syntynyt ja jää havaitsematta (kuva 4.15). Viimeiset kuvasarjat toimenpiteen päättyessä onkin tärkeä dokumentoida siten, että koko sepelvaltimopuusto on näkyvissä. Ainakin yhden pallolaajennuksen jälkeisen kontrollikuvasarjan tulee olla myös varsin pitkä, jotta sepelvaltimon pienetkin perforaatiot tulevat näkyviin. Tämä voi olla esimerkiksi PA-suunnasta tai vähäisestä kallistuksesta otettu sarja, jolloin erottelukyvyn ja säteilyannoksen suhde on hyvä. On myös hyvä muistaa, että liika rajauksen käyttö voi johtaa pöydän siirtoihin ja pidempiin kuvausaikeihin.



Kuva 4.14. Kuvan rajaaminen vähentää tehokkaasti sekä potilaan että toimenpidelääkärin saamaa annosta.



Kuva 4.15. Esimerkkejä kuvan kaihtimilla rajaamisesta pallolaajennustoimenpiteessä. Sepelvaltimon varjoaineruiskutuksessa kuva rajataan siten, että kaikki merkittävät sepelvaltimohaarat tulevat näkyviin, mutta mielenkiinnon ulkopuolista aluetta ei jää näkyviin. Mikäli suoni jatkuu kuvakentän ulkopuolelle tai todetaan kollateraaliveitoja, tutkimuspöytää liikutetaan rauhallisesti haluttuun suuntaan kuvasarjan jatkuessa. Ylhäällä vasemmalla: oikean sepelvaltimon ruiskutuksessa pöytää liikutetaan usein sivusuunnassa. Ylhäällä oikealla: Vasemman sepelvaltimon etulaskevan haaran kuvaamisessa tutkimuspöytää liikutetaan usein kaudaalisuuntaan. Huomaa ero kuvien laadussa (vasemmalla uudemman ja oikealla vanhemman teknologian laite). Alhaalla vasemmalla: stentin visualisointiohjelma. Alhaalla oikealla: toimenpiteen kuluessa kuva rajataan siten, että toimenpidepallo ja ohjainkatetri ovat näkyvissä. Kuvat: Tuomas Rissanen, Siun sote.

#### 4.11 Suodatuksen ja hilan käyttö

Röntgensäteilyn spektrissä on sekä matala- että korkeaenergistä fotonisäteilyä (liite 3). Matalaenergiset fotonit absorboituvat potilaan iholle eivätkä pääse kuvailmaisimelle asti. Ne ovat siten röntgenkuvan muodostuksen kannalta tarpeettomia ja lisäävät vain potilaan säteilyaltistusta. Matalaenergisien röntgensäteilyn osuutta säteilyn spektristä pyritään vähentämään suodattimien avulla. Suodattimet voivat olla joko kuvausprotokollakohtaisia tai vaihtua potilaan koon mukaan. Joissakin laitteissa käyttäjillä on mahdollisuus muokata suodatuksia, yhdessä fyysikon ja laitteen edustajan kanssa, jolloin potilaan ihoannosta voidaan pienentää. Suodatuksen lisääminen pakottaa samalla nostamaan laitteen säteilyn tuottoa, joten liian suuri suodatus kuvattavaan kohteeseen nähden voi huonontaa kuvan laatua.

Hilan avulla vähennetään primaarikentän matalaenergistä sironnutta säteilyä. Hilaa ei käytännössä koskaan poisteta.

#### 4.12 Erityistilanteet kuten raskaana oleva potilas

Koska sikiö on erityisesti raskauden ensimmäisen kolmanneksen aikana herkkä ionisoivan säteilyn haittavaikutuksille (ks. tarkemmin liite 1), ei raskaana olevalle potilaalle tehdä lähtökohtaisesti ionisoivaa säteilyä käyttäviä tutkimus- tai hoitotoimenpiteitä, ellei se ole välttämätöntä joko äidin tai sikiön hyvinvoinnin takaamiseksi. Ensisijaisesti täytyy selvittää vaihtoehtoisten menetelmien kuten ultraäänikuvantamisen tai magneettitutkimuksen mahdollisuus. Raskauden aikana yleisin äidille tehtävä kajoava ja säteilyä käyttävä sydäntutkimus on elektrofysiologinen tutkimus ja rytmihäiriön, yleensä supraventrikulaarisen tiheälyöntisyyden (SVT) ablaatiohoito. Siihen voidaan yleensä rauhassa valmistautua ja suunnitella paras ajankohta ja säteilysuojelliset toimenpiteet. Raskauden aikana harvinaisia kiireellisiä tai päivystysluonteisia kajoavia sydäntutkimuksia ovat sepelvaltimoiden varjoainekuvaukset ja pallolaajennushoito, massiivin keuhkoveritulpan katetriliuotushoito ja (vajaatoiminta)tahdistimen asennus.



Kuva 4.16. Raskaana olevan naisen säteilysuojaus (vajaatoiminta)tahdistintoimenpiteessä. Vasemmalla: selän alle ja vatsan päälle on asetettu säteilysuojapeitot. Lisäksi toimenpiteessä käytetään vielä steriiliä liikuteltavaa vismuttisäteilysuojaa (Radpad). Reaaliaika-annosmittarit (DoseAware) näyttävät toimenpiteen aikana säteilyannosta. Oikealla: kuvakentän rajaukseen kiinnitetään erityistä huomiota. Jopa vajaatoimintatahdistintoimenpide voidaan tehdä käyttäen pelkkää läpivalaisua. Toimenpiteessä ilmakerma oli 26 mGy ja DAP 1 220 mGy cm<sup>2</sup>. Tahdistintoimenpidettä edeltäneessä sepelvaltimovarjoainekuvauksessa vastaavat annokset olivat 8 mGy (Ilmakerma) ja 300 mGy cm<sup>2</sup> (DAP). Toimenpidettä edeltävän simulaation perusteella sikiön laskennallinen annos oli 0,07 mSv. Vajaatoimintatahdistimen ansiosta raskaus saatiin vietyä turvallisesti läpi ja potilas synnytti myöhemmin terveen lapsen. Kuvat: Tuomas Rissanen, Siun sote.

On suosittelevaa, että toimenpide suoritetaan ranteen kautta (myös kyynärvarren taiteen reittiä voi tarvittaessa kokeilla). Silloin säteilykenttä ei kohdistu alavatsaan tai lantioon, ja toimenpide voidaan suorittaa tavalliseen tapaan. Säteilysuojeluun ja tutkimuksen optimointiin on kuitenkin kiinnitettävä erityistä huomiota (kuva 4.16). Jos toimenpide joudutaan suorittamaan nivusten kautta, niin vatsan alueen säteilyttämisestä on vältettävä kokonaan tai ainakin säteilyaltistus on minimoitava (esim. lyhyemmällä säteilytyksellä). Toimenpiteestä sikiölle aiheutunut säteilyaltistus ei käytännössä anna aihetta harkita raskauden keskeytystä (22). Tarvittaessa sairaalafyysikko voi arvioida sikiön annoksen. Tyypilliset annokset on esitetty

taulukossa 4.2 (22). Esimerkiksi tyypillisestä angiografiatoimenpiteestä sikiölle aiheutunut säteilyannos vastaa noin 12 päivän taustasäteilystä saatavaa säteilyannosta.

Taulukko 4.2. Sikiön tyypilliset säteilyannokset kardiologisissa röntgentutkimuksissa (22).

Tutkimus	Arvioitu sikiön annos (mGy)
Natiivikeuhkokuva	< 0,0001
Keuhkovaltimoiden TT-angiografia	0,01–0,66
Sepelvaltimoiden TT-angiografia (prospektiivinen tahdistus)	noin 1
Sepelvaltimoiden TT-angiografia (retrospektiivinen tahdistus)	noin 3
Alavatsan ja lantion TT-angiografia	6,7-56
Katetrin läpivalaisuohjaus nivusalueelta sydämeen	0,094–0,244/min
Sepelvaltimoiden varjoainokuvaus	0,074
Monimutkainen elektrofysiologinen tutkimus	0,0023–0,012/min

Jodivarjoaine läpäisee istukan ja pääsee sikiöön (23). Kirjallisuudesta ei kuitenkaan toistaiseksi löydy todisteita, että se vaurioittaisi sikiötä (23). American College of Radiology (ACR) suosittelee, että jodivarjoainetta voidaan käyttää raskaana olevalle potilaalle tilanteen vaatiessa (23). Tässä tapauksessa on suositeltavaa tarkistaa vauvan kilpirauhaistoimintaa heti syntymän jälkeen (24).

Sikiön annos tulee pääasiassa äidin keholta tulevasta hajasäteilystä. Tämän vuoksi pienin mahdollinen sikiön annos saavutetaan suorittamalla toimenpide ranteen kautta (kyynärvarren taiteen kautta), hyvällä kentän rajauksella sekä välttämällä kinekuvia. Kirjallisuuden perusteella potilaan mahan peittävän suojan teho vaihtelee 3 %–80 % välillä (22,25). Esimerkiksi, keuhkoveritulpan TT-kuvauksessa sikiön annos pieneni jopa 80 % lyijysuojan käytön ansiosta (25). Tulisi kuitenkin muistaa, että säteilysuoja ei vähennä äidin keholta tulevan hajasäteilyn määrää.

Seuraavien toimenpiteiden avulla säteilysuojelua voidaan parantaa ja tutkimusta optimoida:

- Lantion alle laitetaan säteilysuoja (kun toimenpide suoritetaan ranteen kautta).
- Säteilysuojan voi kääriä vatsan ympäri (kun toimenpide suoritetaan ranteen kautta). Suoja tulisi kääriä huolellisesti, jätäkää lyijyä on vaikea taivuttaa. Joskus enemmän hyötyä saadaan käyttämällä ohuempaa vismuttisuoja, sillä se peittää vatsaa paremmin (25) ja painaa vähemmän.
- Jos on mahdollista, tehdään toimenpide uudella laitteella. Uudessa laitteessa tekniikka on parempi, ja se mahdollistaa matalammat annokset.
- Protokollaksi valitaan mahdollisimman matala-annoksinen ohjelma. Pulssinopeus tulisi vaihtaa matalaksi, jos se ei ole oletuksena.
- Jos on mahdollista, angiografiatoimenpide suoritetaan mielellään ranteen kautta (kyynärvarren taiteen kautta). Näin sikiö ei joudu suoraan primaarisäteilykeilaan.
- Kinekuvia tulisi välttää. Yritetään käyttää vain läpivalaisua. Uudessa laitteessa läpivalaisukuvan pystyy tallentamaan paikalliseen kuva-arkistoon.

- Jyrkkiä projektioita tulisi välttää. Kuitenkin, jos toimenpide on pitkä ja annos tulee olemaan korkea, projektio tulee vaihtaa ihoannoksen takia.
- Kuva tulisi rajata hyvin.
- Säteilytysaika tulisi minimoida.
- Yleiseen säteilyhygieniaan, kuten detektorin paikkaan tai pöydän korkeuteen tulisi kiinnittää erityistä huomiota.

#### 4.13 Potilaan ihon annoksen tarkkailu ja hälytysrajat

Jos toimenpiteen aikana käytetty annos on suuri, tai käytetään vain yhtä projektiota, on ole-massa potilaan ihon vaurion riski (liite 1, kohta L1.2.1). Toimenpiteen aikana on sen vuoksi seurattava myös potilaan ihon saamaa säteilyannosta, joko laitteissa olevan erityisen ihon annosnäytön avulla tai, sellaisen puuttuessa, potilaan muun annosnäytön avulla (annoksen ja pinta-alan tulon eli DAP-arvon tai annoksen referenssipisteen avulla, ks. liite 2, kohta L2.2.1; kokemuksen mukaan pelkkä läpivalaisuaika ei ole kovin hyvä ihon annoksen osoittamiseen).

Ihovahingon mahdollisuuden minimoimiseksi hyvä käytäntö on ottaa käyttöön ihon annoksen hälytysrajat. Ne ovat kliinikkakohtaiset ja riippuvat myös toimenpiteen tyypistä. Hälytysraja asetetaan suoraan ihon annoksen mukaan silloin, kun laitteessa on ihon annoksen näyttö ja sen oikeellisuus on todennettu mittauksilla. Jos tällaista näyttöä ei ole, hälytysraja asetetaan yleensä DAP-arvon tai referenssipisteen annoksen avulla.

##### **Esimerkkejä hälytysrajoista. Toimenpiteen aikana hoitaja ilmoittaa lääkärille, jos yhden kuvauksen suunnassa**

- suurin ihon annos (MSD, ks liite 2, kohta L2.2.1) ylittää 1,5 Gy laitteen ihon annosnäytön mukaan
- referenssipisteen annos (ks. liite 2, kohta L2.2.1) ylittää 3 Gy
- DAP- arvo ylittää 150 Gy cm<sup>2</sup>.

##### **Toimenpiteen jatkuessa hoitaja ilmoittaa lääkärille uudelleen, jos yhden kuvauksen suunnassa**

- suurin ihon annos kasvaa edellisestä 1 Gy verran
- referenssipisteen annos kasvaa edellisestä 1 Gy verran
- DAP-arvo kasvaa edellisestä 50 Gy cm<sup>2</sup> verran.

Ilmoitukset saatuaan lääkäri vaihtaa kuvaussuunnan mahdollisuuksien mukaan ja pyrkii minimoimaan potilaan altistusta.

Pallolaajennustoimenpiteeseen (PCI) on ehdotettu hälytysrajaa DAP=150 Gy cm<sup>2</sup> (maksimi ihon annos 2 Gy) ja DAP = 250 Gy cm<sup>2</sup> (maksimi ihon annos 5 Gy) (26), mutta samalla korostettu, että tämä rajan käyttökelpoisuus on varmistettava kliinikkakohtaisesti.



#### 4.14 Potilaan informointi

Potilaan tulee saada etukäteen tietoa hänelle suunnitellusta säteilyaltistusta aiheuttavasta tutkimuksesta tai toimenpiteestä, sen avulla tavoitellusta hyödystä sekä siitä mahdollisesti aiheutuvista haitoista ja toisaalta mitä voi tapahtua, jos tutkimusta ei tehdä. Potilaan informoinnissa korostetaan, että odotettavissa oleva hyöty on suurempi kuin säteilyn aiheuttama mahdollinen haitta. Kyseessä on potilaan tietoinen suostumus ja jaettu päätöksenteko. Laissa potilaan asemasta ja oikeuksista todetaan, että potilaalle on kerrottava hoidosta, toimenpiteistä tai niiden vaihtoehtoista avoimesti ja rehellisesti. Tieto tulee antaa niin, että potilas ymmärtää riittävän hyvin sen sisällön. Potilaalle ei kuitenkaan anneta tietoa, jos hän ei sitä halua. Suostumuksena voidaan pitää tilannetta, jossa potilas saa tiedon, eikä oma-aloitteisesti kieltäydy tutkimuksesta tai toimenpiteestä. Tiedottamisessa huomioidaan potilaan tilanne esimerkiksi toistuvien kontrollien tai huonokuntoisten potilaiden kohdalla informointi räätälöidään potilaslähtöisesti. Myös potilaan lähtökohdat ja tunteet otetaan huomioon, eikä turhaa pelkoa tule aiheuttaa. Potilaalla tulee olla jokaisen tutkimuksen tai toimenpiteen kohdalla mahdollisuus saada vastauksia kysymyksiinsä.

Pienen efektiivisen annoksen tuottavassa (esim. alle 2 mSv) tutkimuksessa tai toimenpiteessä potilaalle annetaan etukäteen kirjallinen tiedote, jossa mainitaan tutkimuksen nimi ja se, että kyseessä on säteilylle altistava tutkimus. Säteilyn mahdollisesti aiheuttama riski kuvaillaan sanallisesti (esimerkiksi ”lähes olematon”, ”minimaalinen” tai ”hyvin matala”). Tiedotteessa kerrotaan myös tutkimuksen tai toimenpiteen kulku. Jos hoitava lääkäri tapaa potilaan ennen tutkimusta tai toimenpidettä, hän informoi potilasta myös suullisesti. Tutkimuksen tai toimenpiteen kulku kerrotaan potilaalle tarkemmin kuvantamis- tai toimenpideyksikössä, jossa potilaalla tulee viimeistään olla mahdollisuus saada vastauksia kysymyksiinsä. Kuvantamisyksikössä hoitaja tai lääkäri, ja toimenpideyksikössä hoitaja, lääkäri tai fyysikko antavat tarvittaessa potilaalle lisätietoja.

Suuremman efektiivisen annoksen aiheuttavissa tutkimuksissa tai toimenpiteissä joissa ihoreaktion mahdollisuus on olemassa (esim. sepelvaltimoiden varjoainekuvaukset, pallolaa-jennostoimenpiteet, katetriablaatiot, tahdistinasennukset ja katetriteitse tapahtuvat läppä-asennustoimenpiteet) lähettävän lääkärin tulee keskustella potilaan kanssa arvioidessaan invasiivisen kardiologisen tutkimuksen oikeutusta. Lisäksi potilaalle annetaan etukäteen kirjallinen tiedote ja toimitaan samoin kuin edellä on mainittu.

#### 4.15 Toimenpiteen jälkeiset tehtävät

Potilaan säteilyannos kirjataan toimenpiteen jälkeen joko sydänrekisteriin, RIS:iin (jos se on käytössä) tai potilasasiakirjoihin lausunnon yhteydessä. Tulevaisuudessa tieto siirtynee myös kansalliseen Kanta-arkistoon. Hyvä käytäntö on myös lähettää yhteenveto potilaan annosraportista paikalliseen kuva-arkistoon, mikäli se teknisesti mahdollista. Uusissa laitteissa tämä tapahtuu automaattisesti, kun lähetys on kerran ohjelmoitu. Annosraportissa mainitaan vähintään läpivalaisuaika ja säteilyannos (esim. kumulatiivinen DAP). Hyvä käytäntö on kirjata myös kumulatiivinen ilmakerma sekä potilaan paino ja pituus.

Jos potilaan ihoannos on voinut olla korkea, lääkäri tekee siitä merkinnän potilasasiakirjoihin. Jos ihon vaurio on mahdollinen, lääkäri järjestää ihon seurannan (esim. puhelun tai käynnin avulla) ja antaa potilaalle kirjallisen ohjeen ihon seurannasta (ks. myös kohdat 4.1 ja

4.14). Kynnysarvona seurannalle voidaan käyttää samoja raja-arvoja kuin ihon annoksen kirjaamisessa potilasasiakirjoihin, esimerkiksi jos suurin ihon annos yhden kuvauksen suunnassa on ylittänyt 2 Gy tai referenssipisteen annos on ollut suurempi kuin 3 Gy. Asiasta ilmoitetaan myös fyysikolle, jonka tulisi tarkistaa, johtuuko ylitys laiteteknisistä seikoista, joiden avulla potilaan ihoannoksia voidaan jatkossa pienentää.

#### **4.16 Muut potilaan säteilyturvallisuuteen vaikuttavat toimenpiteet**

Radiologisten toimenpiteiden suoritukseen liittyvien, edellisissä luvuissa kuvattujen käytännön näkökohtien lisäksi potilaan säteilyturvallisuuden varmistamiseksi tarvitaan useita muita yleisiä toimintoja: potilaiden säteilyaltistuksen yleinen seuranta ja säännöllinen vertailu vertailutasoihin, laadunvarmistustoimet sisältäen röntgenlaitteiden teknisen laadunvalvonnan ja kliinisen kuvanlaadun arvioinnin, toiminnan itsearvioinnit, kliininen auditointi, poikkeavista tapahtumista ilmoittaminen, niistä oppiminen ja korjaavien toimenpiteiden toimeenpano, ja jatkuva säteilysuojelun täydennyskoulutus. Näiden sisältöä ja lainsäädännössä annettuja vaatimuksia on tarkemmin tarkasteltu liitteessä 4.

## 5. Avainkohdat henkilökunnan ja potilaan säteilysuojelussa

Sekä henkilökunnan että potilaan säteilysuojelu voidaan tiivistää oheisen yhteenvedon mukaisiin pääperiaatteisiin, joita on käsitelty yksityiskohtaisesti edellä luvuissa 3 ja 4.

### **Käytännön avainkohdat kardiologisten toimenpiteiden säteilysuojelussa:**

1. Vältä turhaa oleskelua röntgenputken läheisyydessä.  
Ota askel taaksepäin, jos mahdollista. Oleskele säteilysuojien takana.
2. Vältä turhia läpivalaisu- ja kuvasarjoja.
3. Aseta pulssinopeus ja kuvanottotiheys mahdollisimman alhaiselle tasolle.
4. Aseta röntgenputki mahdollisimman kauas potilaasta nostamalla tutkimuspöytää.
5. Vältä suuria kallistuksia. Käytä mieluummin RAO- kuin LAO-suuntia.
6. Aseta kuvailmaisim mahdollisimman lähelle potilasta.  
Pienemmät siroavat annokset ovat kuvailmaisimen puolella.
7. Vältä turhien suurennosten käyttöä läpivalaisu- ja kuvasarjojen aikana.
8. Rajaa kuvakenttä mahdollisimman hyvin.
9. Aseta sirontasuoja kiinni potilaan vatsaan.

## Kirjallisuutta

1. Picano B, Vano E. The radiation issue in cardiology: the time for action is now. *Cardiovascular Ultrasound* 2011; 9: 35.
2. Järvinen H. Terveydenhuollon säteilyn käytöstä (röntgendiagnostiikka ja toimenpidediologia) väestölle aiheutuvan säteilyannoksen määrittäminen. STUK-TR 21/Lokakuu 2016. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2016.
3. Kreuzer M, Auvinen A, Cardis E, Hall J, Jourdain JR, Laurier D, Little MP, Peters A, Raj K, Russell NS, Tapio S, Zhang W, Gomolka M. Low-dose ionising radiation and cardiovascular diseases – Strategies for molecular epidemiological studies in Europe. *Mutation Research* 2015; 764: 90–100.
4. Saunamäki K. Radiation protection in the cardiac catheterization laboratory. Special focus on the role of the operator. *Interv Cardiol.* 2010; 2 (4): 667–672.
5. Säteilyn käyttöorganisaatio. Ohje ST 1.4. Säteilyturvakeskus (2.11.2011).
6. Säteilylaki 27.3.1991/592.
7. Säteilysuojelukoulutus terveydenhuollossa. Ohje ST 1.7. Säteilyturvakeskus (10.12.2012).
8. Säteilyn käyttöorganisaatiossa toimivien henkilöiden pätevyys ja säteilysuojelukoulutus. Ohje ST 1.8. Säteilyturvakeskus (17.2.2012).
9. Säteilyaltistuksen enimmäisarvojen soveltaminen ja säteilyannoksen laskemisperusteet. Ohje ST 7.2. Säteilyturvakeskus (8.8.2014).
10. Roguin A, Goldstein J, Bar O, Goldstein JA. Brain and neck tumors among physicians performing interventional procedures. *Am. J. Cardiol.* 2013; 111 (9): 1368–1372.
11. Marx MV, Niklason L, Mauger EA. Occupational radiation exposure to interventional radiologists: a prospective study. *Journal of Vascular and Interventional Radiology* 1992; 3 (4): 597–606.
12. Christodoulou EG, Goodsitt MM, Larson SC, et al. Evaluation of the transmitted exposure through lead equivalent aprons used in a radiology department, including the contribution from backscatter. *Medical Physics* 2003; 30 (6): 1033–1038.
13. Marshall NW, Faulkner K, Clarke P. An investigation into the effect of protective devices on the dose to radiosensitive organs in the head and neck. *British Journal of Radiology* 1992; 65 (777): 799–802.
14. American Association of Physicists in Medicine (AAPM). Cardiac catheterization equipment performance. AAPM Report No. 70. Report of Task Group #17, Diagnostic X-ray Imaging Committee; 2001.
15. International Commission on Radiological Protection (ICRP). Occupational radiological protection in interventional procedures. ICRP Publication, Annals of the ICRP; tulossa julkaistavaksi, ks. [www.icrp.org](http://www.icrp.org)
16. Martin CJ. Eye lens dosimetry for fluoroscopically guided clinical procedures: practical approaches to protection and dose monitoring. *Radiation Protection Dosimetry* 2016; 169: 286–291.
17. Christopoulos G et al. Effect of a real-time radiation monitoring device on operator radiation exposure during cardiac catheterization: the radiation reduction during cardiac catheterization using real-time monitoring study. *Circ Cardiovasc Interv* 2014; 7 (6): 744–50.

18. Järvinen J, Teräs M, Parviainen T, Järvinen H, Hallinen E, Pirinen M, Siiskonen T, Hurme S, Larjava HRS, Mäkelä TJ, Matikka H, Strengell S, Kiviniemi T, Rissanen TT, Niskanen E, Eskola M, Kivelä A, Sierpowska J. Patient Doses in Cardiological Procedures in Finland. In preparation.
19. Potilaan säteilyaltistuksen vertailutasot kardiologiassa. Säteilyturvakeskuksen päätös 15/3020/2016 (20.12.2016).
20. Samir B. Pancholy et al. Effect of vascular access site choice on radiation exposure during coronary angiography: The REVERE Trial (Randomized Evaluation of Vascular Entry Site and Radiation Exposure). *JACC Cardiovasc Interv.* 2015; 8 (9): 1189–1196.
21. Kuon E et al. Identification of less-irradiating tube angulations in invasive cardiology. *J Am Coll Cardiol.* 2004; 44 (7): 1420–1428.
22. Colletti PM, Lee KH, Elkayam U. Cardiovascular imaging of the pregnant patient. *American Journal of Roentgenology* 2013; 200 (3): 515–521.
23. ACR Manual on Contrast Media v10.2. [https://www.acr.org/~media/ACR/Documents/PDF/QualitySafety/Resources/Contrast-Manual/2016\\_Contrast\\_Media.pdf?la=en](https://www.acr.org/~media/ACR/Documents/PDF/QualitySafety/Resources/Contrast-Manual/2016_Contrast_Media.pdf?la=en)
24. Rinta-Kiikka I, Nyberg R, Laarne P. Raskaana olevan potilaan kuvantaminen. *Suomen Lääkärilehti* 10/2012: 782–788.
25. Chatterson LC, Leswick DA, Fladeland DA, Hunt MM, Webster ST. Lead versus bismuth-antimony shield for fetal dose reduction at different gestational ages at CT pulmonary angiography. *Radiology* 2011; 260 (2): 560–567.
26. Järvinen H, Farah J, Siiskonen T, Ciraj-Bjelac O, Dabin J, Carinou E, Domienik J, Kluszczynski D, Knežević Ž, Kopec R, Majer M, Malchair F, Negri A, Pankowski P, Sarmiento S, Trianni A. Feasibility of setting up generic alert levels for maximum skin dose in fluoroscopically guided procedures. *Phys. Med.* 2018; 46: 67–74.
27. International Commission on Radiological Protection (ICRP). Radiological Protection in Cardiology. ICRP Publication 120. *Annals of the ICRP* 2013; 42 (1).
28. Paile W (toim.). Säteilyn terveysvaikutukset. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2002.
29. Säteilytyön perehdytyskansio, OYS 31.8.2010.
30. JCS Joint Working Group. Guideline for radiation safety in interventional cardiology (JCS 2011). *Circulation Journal* 77. February 2013: 519–549.
31. Chambers CE, Fetterly KA, Holzer R, Blankenship JC, Balter S, Laskey WK. Radiation safety program for the cardiac catheterization laboratory. *Catheterization and Cardiovascular Interventions* 2011; 77 (4): 546–556.
32. Oikeutus säteilylle altistavissa tutkimuksissa – opas hoitaville lääkäreille. STUK opastaa/ Maaliskuu 2015. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2015.
33. Andreassi MG et al. Occupational Health Risks in Cardiac Catheterization Laboratory Workers. *Circ Cardiovasc Interv.* 2016 Apr; 9 (4). epub.
34. International Atomic Energy Agency (IAEA). Radiation protection of patients (RPOP) in interventional cardiology. RPOP website; 2013.
35. Schultz FW, Zoetelief J. Dose conversion coefficients for interventional procedures. *Radiation Protection Dosimetry* 2005; 117 (1–3): 225–230.
36. Hart D, Wall BF. Radiation exposure of the UK population from medical and dental X-ray examinations. Report NRPB-W4. National Radiological Protection Board 2002.

37. Neofotistou V. Review of patient dosimetry in cardiology. *Radiation Protection Dosimetry* 2001; 94: 177–182.
38. Bernardi G, Bar O, Jezewski T, Vano E, Maccia C, Trianni A, Padovani R. Quality criteria for cardiac images: an update. *Radiation Protection Dosimetry* 2008; 129 (1-3): 87–90.
39. Inaba Y, Chida K, Kobayashi R, Zuguchi M A cross-sectional study of the radiation dose and image quality of X-ray equipment used in IVR. *Journal Of Applied Clinical Medical Physics* 2016; 17 (4): 2016.
40. Terveydenhuollon röntgenlaitteiden laadunvalvontaopas. STUK tiedottaa 2/2008. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2008.
41. Di Mario C, Sutaria N. Coronary angiography in the angioplasty era: projections with a meaning. *Heart*. 2005; 91(7): 968–976.
42. Järvinen J, yksityinen tiedonanto
43. Säteilyasetus 20.12.1991/1512.
44. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus säteilyn lääketieteellisestä käytöstä 10.5.2000/423.
45. ST-ohjeet, ks. [www.stuk.fi](http://www.stuk.fi), ”säännöstö”.
46. Euroopan Neuvoston direktiivi 2013/59/Euratom, 5.12.2013. Turvallisuutta koskevien perusnormien vahvistamisesta ionisoivasta säteilystä aiheutuvilta vaaroilta suojelemiseksi.
47. Säteilytoiminnan turvallisuus. Ohje ST 1.1. Säteilyturvakeskus (23.5.2013).
48. Säteilyturvallisuus työpaikalla. Ohje ST 1.6. Säteilyturvakeskus (10.12.2009).
49. Säteilyaltistuksen seuranta. Ohje ST 7.1. Säteilyturvakeskus (14.8.2014).
50. Säteilytyötä tekevien työntekijöiden terveystarkkailu. Ohje ST 7.5. Säteilyturvakeskus (13.6.2014).
51. Annosrekisteri ja tietojen ilmoittaminen. Ohje ST 7.4. Säteilyturvakeskus (8.12.2014).
52. Terveydenhuollon laitteiden käytönaikaiset hyväksyttävyyssvaatimukset. Säteilyturvakeskuksen päätös 11/3020/2013 (19.5.2014).
53. Röntgentutkimukset terveydenhuollossa. Ohje ST 3.3. Säteilyturvakeskus (8.12.2014).
54. Potilaan säteilyaltistuksen vertailutasot kardiologisessa radiologiassa. Säteilyturvakeskuksen päätös 27/310/05 (28.12.2005).
55. Säteilytoiminta ja säteilymittaukset. Ohje ST 1.9. Säteilyturvakeskus (7.3.2008).
56. Kliinisen auditoinnin asiantuntijaryhmä (KLIARY). <http://www.kliininenauditointi.fi/>
57. American College of Cardiology (ACC). Radiation safety in the practice of cardiology. ACC Expert Consensus Document. *JACC* 1998; 31 (4): 892–913.
58. Baltr S. Radiation safety in the cardiac catheterization laboratory: Operational radiation safety. *Catheterization and Cardiovascular Interventions* 1999; 47: 347–353.
59. Fetterly KA, Verghese M, Lennon R, Bell MR, Holmes DR, Rihal CS. Radiation dose reduction in the invasive cardiovascular laboratory: implementing a culture and philosophy of radiation safety. *JACC Cardiovascular interventions* 2012; 5 (8): 866–873.
60. Helasvuo Timo (toim.). Radiologisten tutkimusten ja toimenpiteiden määrät vuonna 2011. STUK-B161. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2013.
61. ORAMED (Optimization of Radiation Protection of Medical Staff): <https://www.oramed-fp7.eu/en> ORAMED Final report: [http://cordis.europa.eu/publication/rcn/14679\\_en.html](http://cordis.europa.eu/publication/rcn/14679_en.html)
62. Paile W (toim.). Säteilyn terveystvaikutukset. Luku 9: Säteily ja raskaus. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2002.



## Liite 1

### Säteilysuojelun perusteet

#### L1.1 Säteilyn biologiset vaikutukset

Säteilyllä on haittavaikutuksia, jotka jaetaan deterministisiin ja stokastisiin vaikutuksiin.

*Deterministiset* vaikutukset ovat varmoja haittavaikutuksia, jotka johtuvat laajasta solutuksesta. Ne ilmenevät kudoksen toiminnan heikkenemisenä. Deterministisiä haittavaikutuksia ovat mm. ihovauriot, säteilysairaus, palovamma, harmaakaihi ja sikiövauriot. Vaikutuksille on olemassa kynnsarvot, jonka ylittyessä haitan todennäköisyys kasvaa jyrkästi.

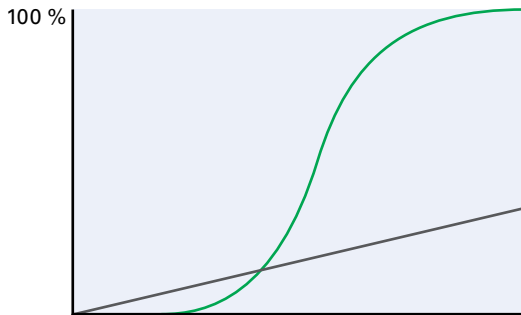
*Stokastiset* haitat ovat tilastollisia haittavaikutuksia, jotka johtuvat geneettisestä muutoksesta yhdessä solussa. Stokastisiin haittavaikutuksiin kuuluvat syöpä sekä sukusoluissa tapahtuvat, jälkeläisille periytyvät vauriot (geneettiset haitat). Satunnaiset vaikutukset voivat periaatteessa saada alkunsa miten pienestä altistuksesta tahansa, sillä niillä ei ole kynnsarvoa. Haitta-aste ei riipu saadusta säteilyannoksesta; ainoastaan haitan todennäköisyys kasvaa annoksen kasvaessa.

#### L1.2 Säteilyriski

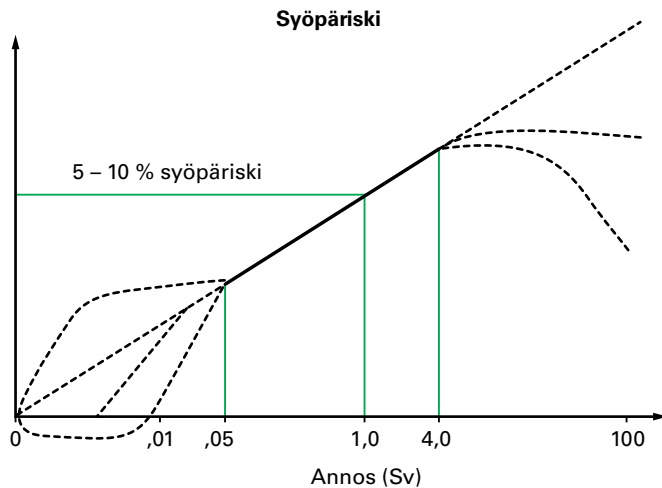
Säteilyriskillä tarkoitetaan riskiä eli todennäköisyyttä sille, että säteilyn käytöstä aiheutuu potilaalle tai henkilökunnalle deterministisiä tai stokastisia haittavaikutuksia.

Säteilyriskin suuruus riippuu säteilyannoksesta (kuva L1.1a). Deterministille haittavaikutuksille voidaan arvioida kynnsannokset, perustuen lähinnä sädehoidossa saatuihin havaintoihin. Kynnsarvot ovat kuitenkin vain suuntaa antavia, ja käytännössä vaikutusten ilmaantuminen vaihtelee yksilöstä toiseen. Stokastisille haittavaikutuksille epidemiologista näyttöä on saatu vain suppealla annosvälillä (kuva L1.1b), ja tätä väliä pienemmillä tai suuremmilla annoksilla riskin ja annoksen riippuvuutta ei tarkkaan tunneta. Yleensä käytetään lineaarista mallia eli oletetaan, että epidemiologisen näytön aluetta voidaan ekstrapoloida lineaarisesti kumpaankin suuntaan. Lisäksi stokastisten haittavaikutusten riskiarvioita ei sellaisenaan saisi soveltaa yksittäisiin potilaisiin eikä edes potilasjoukkoon, koska arvio perustuu yleiseen väestöön eikä potilasaineistoon. Arvioita voidaan kuitenkin käyttää riskien vertailuun ja myös suuntaa antavana, kun joudutaan informoimaan potilaita tutkimusten ja toimenpiteiden riskeistä. Kun tähän perustuen puhutaan potilaalle hänen kohdistuvan tutkimuksen tai toimenpiteen säteilyannoksesta ja säteilyriskistä, on korostettava, ettei kyseessä ole suoraan häntä yksilöllisesti koskevista arvoista vaan tutkimuksesta tai toimenpiteestä tyypillisesti ”standardi-ihmiselle” aiheutuvasta annoksesta ja riskistä.

Lasten säteilyriski on aikuisia suurempi, koska lapset ovat 2–3 kertaa herkempiä stokastisille haittavaikutuksille ja lasten odotettavissa oleva elinikä on suurempi (1, 27).



Kuva L1.1a. Säteilyn haittavaikutusten riippuminen säteilyannoksesta. Deterministinen haitta (vihreä) ja stokastinen haitta (musta) säteilyannoksen funktiona (44).



Kuva L1.1b. Säteilyriskin riippuminen säteilyannoksesta (efektiivinen annos) (11).

### L1.2.1 Potilaan säteilyriski

#### Ihovaurion riski

Kardiologisissa tutkimuksissa ja toimenpiteissä käytetään paljon läpivalaisua. Jos joudutaan säteilyttämään pitkään samasta suunnasta, pitkä läpivalaisuaika voi johtaa deterministiseen haittavaikutukseen eli ihovaurion syntymiseen. Vaurion laatu riippuu läpivalaisuajasta ja siten iholle tulevasta annoksesta (absorboituneesta annoksesta). Taulukossa L1.1 on annettu suuntaa antavia kynnysannoksia, kynnysarvoon johtavia läpivalaisuaikoja ja säteilytyksestä vaurion ilmaantumiseen kuluvia aikoja (29, 30). Kuvassa L1.2 on esitetty tyypillisiä eriaisteisia ihovaurioita (30).

Läpivalaisussa käytetyn säteilyn maksimiannos on iholla röntgenputken puolella. Jotta pitkissä läpivalaisututkimuksissa välttyttäisiin ihovaurioilta, röntgenputken tulee olla mahdollisimman kaukana potilaan ihosta.

Taulukko L1.1. Eriasteisia ihovaurioita, niiden kynnysarvoja ja ilmaantumisaikoja.

Vaurio	Kynnys- annos** (Gy)	Kynnysannokseen johtava läpi- valaisuaika (min)		Säteilytyksestä vaurion ilmaan- tumiseen kuluva aika
		Tavallinen läpivalaisu (20 mGy/min)	Tehostettu läpivalaisu (200 mGy/min)	
Varhainen ohimenevä punotus	2	100	10	2–24 h
Väliaikainen hiustenlähtö/iho- karvojen lähtö	3	150	15	3 viikkoa
Varsinainen punotus	6	300	30	10 vuorokautta
Pysyvä hiustenlähtö/ihokarvo- jen lähtö	7	350	35	3 viikkoa
Kuiva hilseily	10/14	500	50	4 viikkoa
Ihon atrofiat	11/10	550	55	> 14 viikkoa
Verisuoniluomet ja telangiek- tasiat	12	600	60	> 52 viikkoa
Kostea hilseily	15/18	750	75	4 viikkoa
Myöhäinen punotus	15	750	75	6–10/8–10 viikkoa
Ihon kuolio	18	900	90	> 10 viikkoa
Sekundaarinen haavauma	20/24	1 000	100	> 6 viikkoa

\*\* Absorboitunut annos (ihon ekvivalenttiannos, ks. liite 2) paikalliselle ihon alueelle



Kuva L1.2. Eriasteisia ihovaurioita (30). A) Kuiva hilseily, B) Kostea hilseily, C) Haavauma

Taulukko L1.2. Ihoreaktioiden kronologia (27, 31).

Paikallinen ihon alueen annos* (Gy)	Nopeasti ilmenevät reaktiot (< 2 vko)	Aikaiset reaktiot (2–8 vko)	Keskipitkän aikavälin reaktiot (6–52 vko)	Myöhäiset reaktiot (> 40 vko)
2–5	Ohimenevä punotus	Hiusten/ihokarvojen lähtö	Toipuminen hiusten/ihokarvojen lähdöstä	Ei mitään
5–10	Ohimenevä punotus	Punotus ja hiusten/ihokarvojen lähtö	Toipuminen; suurilla annoksilla pitkittynyt punotus osittain pysyvä hiusten/ihokarvojen lähtö	Toipuminen; suurilla annoksilla ihon atrofiat/kovettuminen
10–15	Ohimenevä punotus	Punotus, hiusten/ihokarvojen lähtö, kuiva ja kostea hilseily; toipuminen hilseilystä	Pitkittynyt punotus ja pysyvä hiusten/ihokarvojen lähtö	Ihon atrofiat/kovettuminen
> 15	Ohimenevä punotus; hyvin suurilla annoksilla kostea hilseily, turvotus ja haavaumat	Punotus ja hiusten/ihokarvojen lähtö, kostea hilseily	Ihon atrofiat, kovettuminen ja sekundaarinen haavauma; suurilla annoksilla ihon kuolio	Telangiectasia, ihon atrofiat, kovettuminen, sitkeä haavauma, ihon myöhäinen rappeutuminen (breakdown)

\* Absorboitunut annos

### Sydän- ja verisuonitautien riski

Viime vuosina on saatu viitteitä säteilyn aiheuttamasta sydän- ja verisuonitautien riskistä (3). Riski näyttäisi olevan koholla, kun sydämen (tai verisuonien) säteilyannos (absorboitunut annos) ylittää noin 0,5 Gy. Kardiologisessa säteilyn käytössä sydämen annokset ovat usein yli 0,5 Gy. Selvä korrelaatio löytyy vasta sädehoitoon liittyvillä annoksilla yli 5 Gy. On kuitenkin huomattava, että sydämen annoksen ollessa  $\geq 0,5$  Gy, myös ihon säteilyannos (paikallinen ihon absorboitunut annos) on merkittävä ja voi käytännössä olla suurin riski.

### Stokastisten haittavaikutusten riski

Kuten edellä todettiin (kuva L1.1), stokastisten haittavaikutusten säteilyriskin riippuminen annoksesta tunnetaan epätäydellisesti eikä sitä sellaisenaan voi käyttää yksilöllisen riskin tarkkaan arviointiin. Eri tyyppisten röntgentutkimusten syöpäriskejä on verrattu taulukossa L1.3. Vaikka kardiologiset tutkimukset ja toimenpiteet kuten taulukossa esimerkkinä mainittu sepelvaltimon pallolaajennus, sijoittuvat luettelossa suurimman riskin alueelle, tätäkin riskiä voidaan kuvailla matalaksi ja se on yleensä täysin hyväksyttävissä tutkimuksesta tai toimenpiteestä saatavan hyötyn verrattuna.

Taulukko L1.3. Säteilyn aiheuttama syöpäkuoleman riski (32). Arviot pätevät väestön keskimääräiselle edustajalle, eikä niitä voi käyttää yksilöllisen riskin tarkkaan arviointiin. Väestötasolla säteilyn aiheuttaman syöpäkuoleman riskin arvioidaan olevan 0,005–0,01 % / mSv. Suomessa muista syistä aiheutuvaan syöpään kuoleamisen riski on noin 20 % (1:5).

Esimerkki syöpäkuoleman riskin sanallisesta kuvailusta	Syöpäkuoleman riski	Esimerkkejä tutkimuksista	Efektiivinen annos (mSv)	Aika, jona suomalainen henkilö saa keskimäärin saman annoksen kaikista säteilyn lähteistä
Lähes olematon	Pienempi kuin 1 : 1 000 000	Raajan (esim. ranne, polvi) röntgentutkimus	Pienempi kuin 0,02	Alle 2 päivää
Minimaalinen	1 : 1 000 000–1 : 100 000	Keuhkojen röntgentutkimus (etu ja sivu), Mammografia	0,02–0,2	2–20 päivää
Hyvin matala	1 : 100 000–1 : 10 000	Lantion röntgentutkimus, Vatsan röntgentutkimus, Pään TT-tutkimus	0,2–2	3 viikkoa–7 kuukautta
Matala	1 : 10 000–1 : 1000	Vatsan TT-tutkimus, PET-TT –tutkimus, Sepelvaltimon pallolaajennus	2–20	7 kuukautta–6 vuotta

### Säteilyn haittavaikutukset sikiölle

Säteily vaurioittaa suoraan ensisijaisesti sikiön kehittyvää keskushermostoa erityisesti raskausviikoilla 10–17 (taulukko L.1.4). Suhteellisen alhainenkin säteilyannos, mahdollisesti jopa alle 100 mSv:n ekvivalenttiannos voi tänä aikana aiheuttaa pienipäisyyttä ja älykkyyden alentumista. Raskausviikkojen 18–27 aikana vakavaa jälkeenjääneisyyttä on tavattu vasta yli 1 Sv annoksen jälkeen mm. Japanin atomipommituksen yhteydessä. Vakavaa jälkeenjääneisyyttä ei ole tavattu sikiöille ennen raskausviikkoa 10 tai viikon 27 jälkeen. Tämän takia säteilyä käyttäviä tutkimuksia ja hoitotoimenpiteitä tulee välttää raskausviikoilla 10–17. Röntgensäteily ei tietävästi aiheuta keskushermoston lisäksi muita kehityshäiriöitä sikiölle.

Determinististen vaikutusten lisäksi raskaudenaikainen säteily voi aiheuttaa myös stokastisia vaikutuksia. Riski saada syöpä lapsuusiässä raskaudenaikaisen säteilyaltistuksen seurauksena on arvioitu olevan 6 % sievertiä kohti. Tämän mukaan riski olisi n. 1:1700, kun sikiö on saanut 10 mSv:n ekvivalenttiannoksen, mikä tarkoittaa 30 % lisäystä altistumattomiin

lapsiin verrattuna. Todennäköisesti lisääntynyt riski jatkuu aikuisikään saakka, mutta siitä ei ole tutkimustietoa. Röntgensäteilyä käyttävästä tutkimuksesta aiheutuva säteilyaltistus antaa tuskin koskaan aihetta harkita raskauden keskeytystä.

Taulukko L1.4. Ionisoivan säteilyn aiheuttamat deterministiset haittavaikutukset kohdistuvat etupäässä keskushermostoon raskausviikoilla 10–17.

Raskausviikko	Kynnysarvo (mGy)	Säteilyvaurio
0–10	> tuhansia	kuolema
10–17	n. 100	pienipäisyys, jälkeenjääneisyys
18–27	n. 1 000	pienipäisyys, jälkeenjääneisyys
>27	> tuhansia	kuolema

## L1.2.2 Henkilökunnan säteilyriski

### Harmaakaihin riski

Kardiologisen säteilyn käytön henkilökunnasta käytännössä ainoastaan kardiologeilla voi olla deterministisen säteilyhaitan riski, ja käytännössä tällä tarkoitetaan silmän säteilyannoksesta aiheutuvaa harmaakaihin riskiä. Silmän mykiön ekvivalenttiannoksen ollessa >1–2 Sv, yli viiden vuoden kuluttua säteilytyksestä voi ilmetä havaittavaa silmän mykiön samenemista, ja ekvivalenttiannoksen ollessa >5 Sv, yli viiden vuoden kuluttua säteilytyksestä voi ilmetä harmaakaihi (30). Viimeisimmät tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että silmän mykiön samenemista tapahtuu jo näitäkin pienemmillä annoksilla, ja tämän vuoksi kynnysarvona pidetään nykyisin 0,5 Sv:n ekvivalenttiannosta. Näiden havaintojen vuoksi silmän mykiön ekvivalenttiannoksen annosraja tullaan säteilylainsäädännön uudistuksessa pudottamaan merkittävästi, nykyisestä 150 mSv:stä 20 mSv:iin.

Silmäsuojainten käytöllä ja muita säteilysuojeluperiaatteita noudattaen (kohta 3.5) harmaakaihin riski voidaan minimoida lähes olemattomaksi.

### Stokastisen säteilyhaitan riski

Säteilysuojeluperiaatteita ja annosrajoja (liite 4) noudattaen henkilökunnan riski stokastisille säteilyhaitoille on minimaalinen ja hyväksyttäväksi katsotulla tasolla. Aktiivisesti toimivat ja kokeneet kardiologit voivat toimitessa kardiologisessa yksikössä saada vuodessa 5 mSv efektiivisen annoksen, jolloin tällä annostasolla elinaikaiseksi säteilyn aiheuttamaksi ylimääräiseksi syöpäriskiksi arvioidaan noin 1:100, kun samanaikaisesti muista syistä kuin säteilyn käytöstä aiheutuva syöpäriski on 42:100 (1).

Taulukossa L1.5 on lueteltu sairauksia, joita on todettu angiologianlaboratoriossa säteilytyötä tekeillä kardiologeilla enemmän kuin verrokeilla. Osa riskeistä kuten kohonnut verenpaine ja tuki- ja liikuntaelinongelmat selittyvät todennäköisesti stressaavalla työympäristöllä ja puutteellisella työergonomialla.

Taulukko L1.5. Säteilytyötä keskimäärin 10 vuotta tehneiden kardiologien terveysriskejä verrattuna kardiologeihin, jotka eivät tee säteilytyötä (33).

Lääketieteellinen vaiva	Riskikerroin (95 % luottamusväli)
Iholeesio	2,8 (1,3–6,1)
Tuki- ja liikuntaelinongelmat	7,1 (4,0–12,4)
Kaihi	6,3 (1,5–27,6)
Syöpä	3,0 (0,6–13,7)
Kohonnut verenpaine	1,5 (0,9–2,6)
Korkea kolesterol	3,1 (1,5–6,2)

### L1.3 Oikeutus, optimointi ja yksilönsuojaperiaatteet

Turvallisen säteilyn käytön perusteena on säteilylaissakin (592/91 2 §) määritelty säteilysuojelun kolme perusperiaatetta: oikeutusperiaate, optimointiperiaate (ALARA-periaate, As Low As Reasonably Achievable) ja yksilönsuojaperiaate.

Tutkimus tai toimenpide, jossa käytetään röntgensäteilyä, on oltava lääketieteellisesti perusteltu eli oikeutettu. Tutkimus tai toimenpide on oikeutettu, kun siitä odotettavissa oleva hyöty on suurempi kuin aiheutuva haitta. Tutkimuksen tai toimenpiteen suorittaminen on myös optimoitava, eli potilaan saama säteilyannos on rajoitettava määrään, joka on välttämätöntä tarkoitetun tutkimustuloksen tai toimenpiteen tarkoituksen saavuttamiseksi.

Yksilönsuojaperiaatteen mukaan tutkimuksesta tai toimenpiteestä muille kuin potilaalle aiheutuva säteilyannos ei saa ylittää työntekijöille ja väestölle asetettuja annosrajoja. Periaatteen tarkoituksena on suojata työntekijöitä liian suurelta säteilyaltistukselta. Yksilönsuojaperiaate ei siis koske potilaita, koska heille ei ole asetettu annosrajoja; jos tutkimus on oikeutettu ja optimoitu, siitä aiheutuva annos on pienin mahdollinen. Kaikkien kolmen periaatteen on toteuduttava, jotta säteilynkäyttö on turvallista sekä potilaalle että henkilökunnalle.



## Liite 2

### Suureet ja käsitteet

#### L2.1 Säteilysuojelun perussuureet: absorboitunut annos, ekvivalenttiansos ja efektiivinen annos

Säteilysuojelun perussuureita ovat absorboitunut annos, ekvivalenttiansos ja efektiivinen annos. Niitä tarvitaan henkilökunnan, potilaiden ja väestön saaman säteilyannoksen määrittämiseksi ja seuraamiseksi.

Röntgensäteilyn osuessa kudokseen, säteilyenergia absorboituu eli "imeytyy" siihen ja aiheuttaa kudoksessa biologisia muutoksia. *Absorboitunut annos* kertoo kudoksen saaman todellisen säteilyannoksen. Absorboitunut annos on kudokseen imeytynyt säteilyenergia jaettuna kudoksen massalla. Absorboituneen annoksen yksikkö on gray (Gy), yksi Joule kilogrammaa kohden (J/kg).

Säteilyannosten määrittämisessä on otettava huomioon säteilyn laatu, koska eräät säteilylajit aiheuttavat muita tehokkaammin haittavaikutuksia. Absorboitunut annos muutetaan *ekvivalenttiansokseksi* säteilylajikohtaisella laatukertoimella, jotta eri säteilylajien vahingollisuutta voidaan vertailla. Röntgensäteilyn laatukerroin on yksi ja alfasäteilyn (esimerkiksi radon) laatukerroin on 20. Tämä tarkoittaa, että alfasäteily on 20 kertaa haitallisempaa. Ekvivalenttiansoksen yksikkö on Sievert (Sv) = J/kg. Työntekijöiden annosrajat (liite 4) silmän mykiölle, käsille, jaloille ja iholle tulevalle säteilylle annetaan ekvivalenttiansoksen avulla. Elimen ekvivalenttiansos on myös lähtösuure laskennalle, kun halutaan määrittää potilaan säteilyriski elinkohtaisesti.

Säteilyn aiheuttama haittavaikutus riippuu ekvivalenttiansoksen lisäksi myös siitä, mihin kudokseen säteily on kohdistunut. Eri elimet ovat eri tavalla herkkiä säteilyn haittavaikutuksille esimerkiksi sukurauhaset, keuhkot ja punainen luuydin ovat muita herkempiä säteilyn haittavaikutuksille. *Efektiivisellä annoksella* tarkoitetaan kokokehon saamaa säteilyannosta, kun eri elinten saamat ekvivalenttiansokset lasketaan yhteen painotettuna elinkohtaisilla painokertoimilla (9). Efektiivisen annoksen laskennan perustekijät ovat siten absorboitunut annos, säteilylajille määritelty laatukerroin sekä kunkin elimen tai kudoksen säteilyherkkyttä kuvaava painokerroin. Efektiivisen annoksen yksikkö on Sievert (Sv) = J/kg.

## Ekvivalenttiannos, $H_T$ ja Efektiivinen annos, $E$

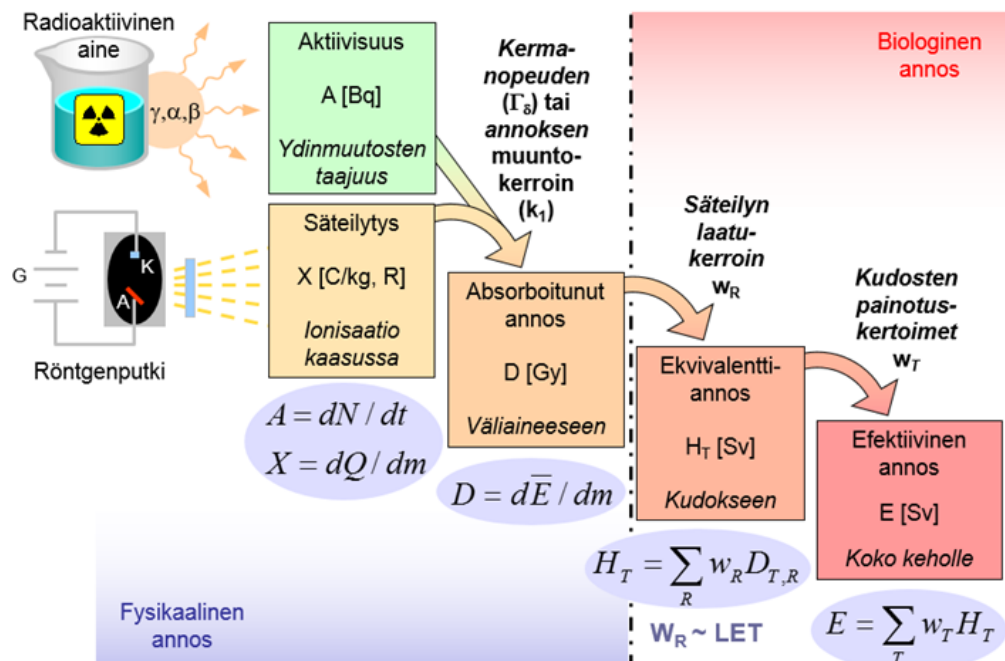
$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

$w_T$  elinten tai kudosten T painotuskerroin  
 $w_R$  säteilyn painotuskerroin (=1,0 kardiologiassa)  
 $D_{T,R}$  elimen keskimääräinen absorboitunut annos

**Yksikkö: sievert (Sv), 1 Sv = 1 J kg<sup>-1</sup>**

Työntekijöiden ja väestön annosrajat (liite 4) kokokeholle annetaan efektiivisen annoksen avulla. Efektiivisen annoksen avulla voidaan määrittää ja vertailla eri tutkimuksista ja toimenpiteistä potilaalle aiheutuvia kokokehon annoksia. Efektiivinen annos on myös käyttökelpoinen työntekijöiden ja väestön säteilyriskin arvioinnissa, mutta potilaiden ja erityisesti yksittäisen potilaan riskinarvioinnissa sen käyttöarvo on rajallinen (liite 1).

Kuvassa L2.1 on havainnollistettu säteilysuojelun perussuureiden välisiä yhteyksiä.



Kuva L2.1. Säteilysuojelun perussuureet. © Physico-Medicae (www.physicomedicae.fi)

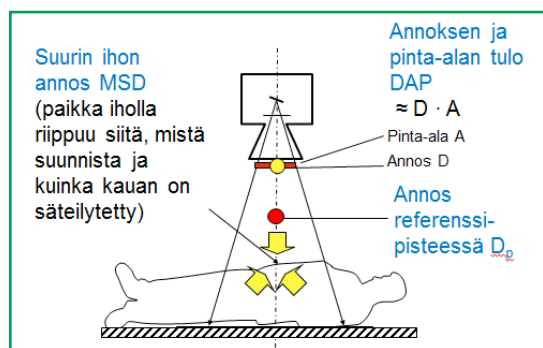
## L2.2 Mittaussuureet

Edellä mainitut kolme perussuuretta on vaikea määrittää ja laskennallisina suureina ekvivalenttiannosta ja efektiivistä annosta ei voida suoraan edes mitata. Käytännössä tarvitaan myös suureita, jotka voidaan mitata (mittaussuureita) ja joiden arvosta voidaan muunnoskerrointen avulla määrittää ekvivalenttiannos ja efektiivinen annos. Mittaussuureita tarvitaan myös potilaan säteilyaltistuksen vertailutasojen asettelussa, röntgenlaitteiden suorituskyvyn ja ominaisuuksien testauksessa ja laadunvalvonnassa.

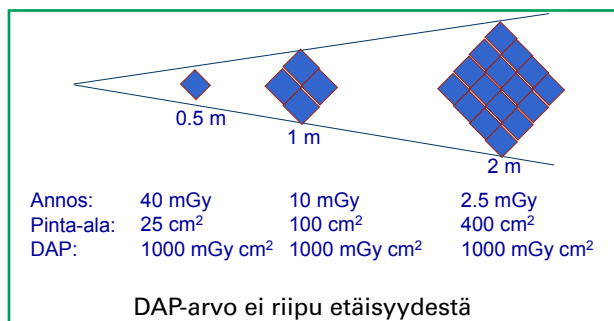
### L2.2.1 Potilaan säteilyaltistus

Potilaan säteilyaltistuksen määrittämiseen ja seurantaan kardiologiassa, kun käytetään normaaleja läpivalaisuröntgenlaitteita, käytetään seuraavia mittaussuureita:

- annoksen ja pinta-alan tulo, DAP (Dose Area Product)
- annos referenssipisteessä,  $D_p$  (Dose at the patient entrance reference point)
- suurin ihon annos, MSD (Maximum Skin Dose; tarkemmin: ihon ekvivalenttiannoksen suurin arvo)
- läpivalaisuaika,  $T$ .



Näistä kolme ensimmäistä on varsinaisia annossuureita. Läpivalaisuaika on apusuure, jonka avulla voidaan ainoastaan hyvin karkeasti arvioida potilaan säteilyaltistuksen suuruutta (käytännössä edellyttää varsinaisen annossuureen ja läpivalaisuaajan korrelaatiota, joka voi olla hyvin vaihteleva ja tapauskohtainen). Kahden ensin mainitun suureen kohdalla annos tarkoittaa ilmaan absorboitunutta annosta. Annoksen asemesta käytetään myös suuretta ilmakerma (Ilmakerman ja pinta-alan tulo, KAP ja ilmakerma referenssipisteessä,  $K_p$ ). Kardiologisessa säteilyn käytössä (kuten muussakin röntgendiagnostiikassa) käytetyllä röntgensäteilyn energia-alueella ilmaan absorboituneen annoksen ja ilmakerman lukuarvot ovat samansuuruiset, ja annokseen pohjautuvat suuret (DAP,  $D_p$ ) ovat vakiintuneimmat käyttöön.



### Annoksen ja pinta-alan tulo (DAP)

Annoksen ja pinta-alan tulo (DAP), yksikkönä tavallisesti mGy cm<sup>2</sup> tai Gy cm<sup>2</sup>, on käytännössä tärkein suure potilaan säteilyannoksen määrittämisessä ja seurannassa. Läpivalaisulaitteessa on joko DAP-mittari (läpäisytyyppinen, tasomainen ionisaatiokammio) tai laite määrittää DAP-arvon laskennallisesti läpivalaisuparametrien perusteella. DAP-arvo on käytännössä riippumaton siitä, millä etäisyydellä röntgenputken fokuksesta se mitataan. Tämän vuoksi mittaustulosta voidaan käsitellä DAP-arvona potilaan ihon pinnalla.

DAP-arvosta voidaan laskea efektiivinen annos käyttäen julkaistuja muunnoskertoimia efektiivinen annos/DAP. Muunnoskertoimet riippuvat säteilyenergiasta, säteilykeilan sijainnista, säteilykentän koosta ja sen osumisesta kuvattavalle anatomiselle alueelle. Kliiniset olosuhteet eivät aina vastaa niitä olosuhteita, joita on käytetty oletuksena muunnoskertoimien määrittämisessä, jonka vuoksi efektiivisen annoksen laskentaan liittyy aina suuria epävarmuuksia. Myös julkaistujen muunnoskertoimien välillä on vaihtelua (taulukko L2.1) (34, 35); taulukossa annettu likiarvo on usein riittävä käytännössä. National Radiation Protection Boardin (NRPB) julkaisemia muunnoskertoimia (36) on usein käytetty muissa julkaisuissa.

Esimerkki: Sepelvaltimoiden pallolaajennustoimenpiteessä laitteen näytöstä saadaan kokonais-DAP-arvoksi 64 Gy cm<sup>2</sup> (tyypillinen arvo, ks. kohta 4.1), jolloin voidaan arvioida, että tyypillinen potilas saisi toimenpiteestä efektiivisen annoksen 0,2 mSv/(Gy cm<sup>2</sup>) x 64 Gy cm<sup>2</sup> ≈ 13 mSv.

Taulukko L2.1. Efektiivisen annoksen (E) laskentaan julkaistuja muunnoskertoimia E/DAP.

Tutkimus tai toimenpide	Muunnoskerroin E/DAP, mSv/ (Gy cm <sup>2</sup> )		
	Käyttökelpoinen likiarvo	Julkaistuja arvoja	Kirjallisuusviite
Koronaariangiografia (CA)	0,2	0,26	(36)
		0,18-0,23	(37)
		0,21 (kuparisuodatin kinemoodissa)	(38)
		0,18 (ilman kuparisuodatinta)	
Pallolaajennus (PCI)	0,2	0,26	(36)
		0,21 (kuparisuodatin kinemoodissa)	(38)
		0,18 (ilman kuparisuodatinta)	
Tahdistimen asennus	0,1	0,1	(36)
Katetriablaatio (RF)		0,1	(36)

### Annos referenssipisteessä ( $D_p$ )

Annosta referenssipisteessä ( $D_p$ ) on kutsuttu myös kumulatiiviseksi annokseksi. Se tarkoittaa geometrisesti määriteltyn tarkastelupisteeseen koko tutkimuksen tai toimenpiteen aikana kertynyttä ilmaan absorboitunutta annosta (tai ilmakermaa). Sitä käytetään usein potilaan ihon annoksen seurantaan, koska  $D_p$ :n ja ihon annoksen (MSD) välille on osoitettavissa korrelaatio. Korrelaatio on kuitenkin tutkimus- tai toimenpidekohtainen ja se voi vaihdella käyttöpaikasta toiseen johtuen laitetekniikan tai läpivalaisukäytäntöjen eroista.  $D_p$ :n asemesta MSD:n seurantaan käytetään myös DAP-arvoa, sillä myös DAP-arvo korreloi MSD:n kanssa usein kohtuullisesti tai jopa paremmin kuin  $D_p$ .

Nykyisissä läpivalaisulaitteissa  $D_p$ :n näyttö on vakiovarusteena samoin kuin DAP-näyttö.

### Maksimi ihon annos (MSD)

Maksimi ihon annoksen (MSD) rutiinimainen määrittäminen suorilla ihon annoksen mittauksilla on hankalaa ja yleensä mahdollista vain tutkimustoiminnassa. Käytännön seurannassa pyritään hyödyntämään MSD:n ja DAP-arvon tai MSD:n ja  $D_p$ -arvon välistä korrelaatiota, jolloin toimenpidekohtaisesti, käyttöpaikalla tehtyihin mittauksiin perustuen voidaan asettaa paikallinen hälytysraja. DAP- tai  $D_p$ -arvon ylittäessä hälytysrajan eli tietyn raja-arvon, todennäköisyys ihovaurioiden kynnyksarvon ylittymiselle on merkittävä. Tällöin lisäsäteilytystä tulisi mahdollisuuksien mukaan välttää ja potilaan ihoreaktioiden seurantaan tulisi kiinnittää erityistä huomiota.

Maksimi ihon annoksen tarkka määrittäminen esimerkiksi edellä mainitun korrelaation selvittämiseksi, voidaan tehdä käyttäen Gafchromic-filmiä tai termoloistedosimetreistä koottua matriisi-ilmaisinta.

Uusissa läpivalaisulaitteissa ovat yleistymässä ihon annoksen kartoittamiseen tarkoitetut ohjelmistot. Nämä ovat hyödyllisiä, mutta ennen käyttöön ottoa niiden toiminta on verifioitava fantomissa tehdyillä mittauksilla. Kun maksimiannoksen sijaintikohta on tiedossa (esim. fantomimittausten perusteella), annoksen suuruus voidaan selvittää pistemäisellä mittauksella.

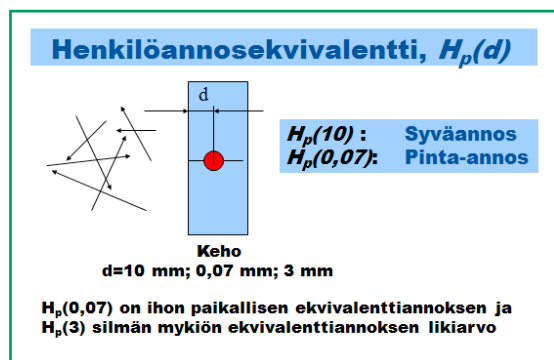
### Potilaan säteilyaltistuksen vertailutasot

Potilaan säteilyaltistuksen arvioinnissa ja seurannassa käytettävät *vertailutasot* (liite 4) annetaan yleensä DAP-arvojen avulla. Vertailutaso on tutkimuksesta tai toimenpiteestä potilaalle tyypillisesti aiheutuva säteilyannos silloin, kun tutkimus tai toimenpide on tehty hyvän käytännön mukaisesti. Hyvä käytäntö sisältää myös potilaan säteilyaltistuksen optimoinnin eli tarvittava kuvan laatu saavutetaan mahdollisimman pienellä säteilyannoksella. Vertailutasoja käytetään säännöllisesti siten, että lasketaan tutkimuksen tai toimenpiteen DAP-arvojen keskiarvo useille potilaille tehdyistä tutkimuksista tai toimenpiteistä ja verrataan sitä kyseiselle tutkimukselle tai toimenpiteelle annettuihin vertailutasoihin.

### L2.2.2 Henkilökunnan säteilyaltistus

Henkilökunnan säteilyaltistuksen mittauksessa käytettävä suure on nimeltään *henkilöannosekvivalentti*. Se määritellään annosekvivalentiksi kokokeholle 10 mm:n syvyydellä,  $H_p(10)$ , iholle 0,07 mm:n syvyydellä,  $H_p(0,07)$  ja silmälle 3 mm:n syvyydellä,  $H_p(3)$ .

Henkilöannosekvivalenttia  $H_p(10)$  nimitetään usein *syväannokseksi* ja henkilöannosekvivalenttia  $H_p(0,07)$  *pinta-annokseksi*.



Syväannos on usein hyvä efektiivisen annoksen likiarvo silloin, kun ei käytetä henkilökohtaisia säteilysuojaimia. Jos taas keho on pääosin suojattu ja syväannos mitataan säteilysuojaimen päältä, on efektiivinen annos huomattavasti pienempi kuin syväannos, ja se on tapauskohtaisesti laskettava mitatusta syväannoksesta. Karkeaksi arvioksi efektiivisestä annoksesta riittää usein syväannoksen jakaminen luvulla 50–100. Pinta-annos on ihon paikallisen ekvivalenttiannoksen likiarvo ja henkilöannosekvivalentti  $H_p(3)$  silmän mykiön ekvivalenttiannoksen likiarvo.

### L2.3 Kuvanlaatu

Kuvanlaadun tarkastelussa on tärkeää ymmärtää kuvan laadun ja säteilyannoksen välinen suhde. Kuvan laatu on yleensä sitä parempi, mitä suurempi on annos ja päinvastoin. Potilaan säteilyaltistuksen optimoinnissa pyritään siihen, että kuvan diagnostinen laatu on riittävä

mahdollisimman pienellä säteilyannoksella. Annoksen pienentäminen lisää kuvan kohinaa, mutta kohinan lisäys ei välttämättä tee kuvaa diagnoosin tai käyttötarkoituksen kannalta kelvottomaksi. Annoksen kasvattaminen voi puolestaan johtaa siihen, että kuvan laadun parantaminen ei ole tarpeen diagnoosin tai kuvan käyttötarkoituksen kannalta.

Kardiologisten kuvien laadun tulisi olla sellainen, että kardiologi pystyy niistä arvioimaan anatomisia (ja toisinaan funktionaalisia) yksityiskohtia, jotka ovat tarpeen tutkimuksen tai toimenpiteen tavoitteiden saavuttamiseksi.

Teknistä kuvanlaatua (mm. kohina, kontrasti ja erottelukyky) tarkastellaan läpivalaisulaitteiden laadun valvonnassa tehtävillä testeillä ja mittauksilla. Testien tulokset ja niiden perusteella tehty laitteen säädöt luovat perustan sille, että laitteen tekniset ominaisuudet ja kunto tekevät mahdolliseksi saavuttaa kuvauksissa tarvittavan kliinisen kuvanlaadun vaatimukset. Esimerkiksi on osoitettu, että annos per pulssi (frame) on tärkein parametri, joka korreloi kuvan laadun kanssa (39). Laitteen erotuskyky voidaan määrittää ns. resoluutiokammalla.

Kliininen kuvanlaatu voidaan määritellä kolmella laatuparametrilla (38):

- Visuaalisesti havaittava (visualization): tarkasteltavat ominaiset rakenteet ovat havaittavissa, mutta yksityiskohtia ei voi täysin erottaa
- Erottuva (reproduction): anatomisten rakenteiden yksityiskohdat ovat näkyvissä, mutta eivät välttämättä selvästi määritettävissä
- Visuaalisesti tarkasti erottuva (visually sharp reproduction): anatomiset yksityiskohdat ovat selvästi määritettävissä.

Näitä laatuparametreja käyttäen koronaariangiografiakuvan kliiniselle kuvanlaadulle on ehdotettu seuraavia kriteerejä (38). Kuvat on saatava vähintään kahdesta toisiinsa nähden kohtisuorasta suunnasta, jotka mahdollistavat suonien näkymisen ilman häiritsevää päällekkäisyyttä ja lyhentymistä:

- Erotuskyvyltään tarkka kuva oikean sepelvaltimon ostiumista, keski- ja distaaliosasta sekä vasemman sepelvaltimon päärungosta, eteen laskevasta ja kiertävästä haarasta.
- Erotuskyvyltään tarkka kuva  $\geq 1,5$  mm:n läpimittaisista oikean ja vasemman sepelvaltimon sivuhaaroista. Sivuhaaran lähtökohta tulee näkyä vähintään yhdestä suunnasta.
- Erotuskyvyltään tarkka kuva suonen ahtaumasta, joka sijaitsee  $\geq 1,5$  mm läpimittaisessa sepelvaltimossa.
- Mahdollinen kollateraalisuonisto on näkyvissä.

Kuvanlaadun tarkastelussa on tärkeä muistaa, että myös kuvamonitorin laadulla on suuri merkitys. Kardiologit tekevät toisinaan kuva-arkistoratkaisujen avulla hoitopäätöksiä omilta tietokoneen näytöiltään, joiden kuvanlaatu ei välttämättä täytä asetettuja vaatimuksia. Kuvamonitorien laadunvalvonta onkin oltava osana läpivalaisulaitteiden säännönmukaista laadunvalvontaa. Käytetyn kuvamonitorin rajoitukset tulisi aina tuntea; jos käytetään muuta kuin radiologin työasemaa, myös sen laadunvalvonnasta on huolehdittava.

Kuvamonitorien vastaanottotarkastuksissa ja käytönaikaisessa laadunvalvonnassa hyvänä lähtökohtana voidaan pitää STUKin julkaisemassa terveydenhuollon laadunvalvontaoppaassa (40) annettuja suosituksia. Laadunvalvontaan tulisi kuulua mm. käyttäjän suorittamat kuvamonitorin katseluolosuhteiden tarkistaminen ja kuvamonitorin visuaalinen yleisarviointi, ja teknisten asiantuntijoiden tekemä luminanssin tasaisuuden tarkistus.

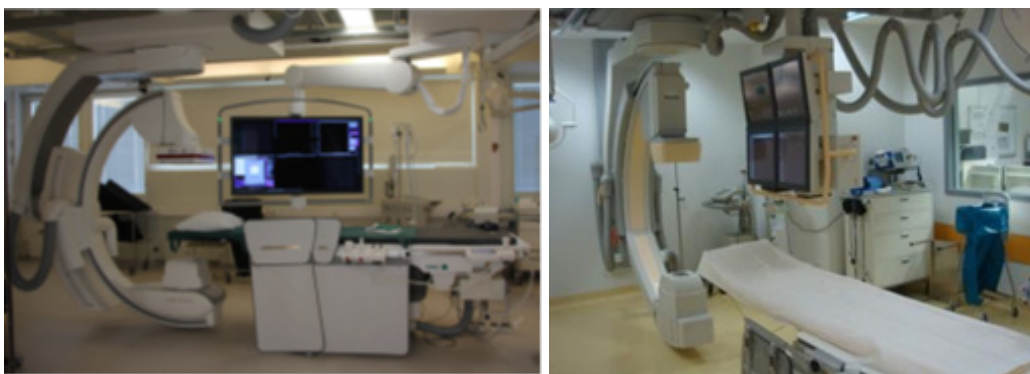


## Liite 3

### Laitteet ja tekniikat

#### L3.1 Angiografialaitteisto

Angiografiakuvaukset vaativat oman toimenpidehuoneen (kuva L3.1), johon mahtuu angiografialaite sekä kaikki apuvälineet esimerkiksi anestesiaa varten.



Kuva L3.1. Tyypillinen kardiologinen toimenpidehuone ja laitteisto (kattokiinnitteinen sydänangiografialaite, monitori, tutkimuspöytä, säteilysuojat, EKG- ja painemittausyksikkö ja kaapelit). Kuvat: Tuomas Rissanen, Siun sote.

Angiografialaitteistoon kuuluu akselinsa ympäri liikuteltava röntgenyksikkö (ns. C-kaari sen muodon takia), joka on kiinnitetty joko kattoon tai lattiaan. C-kaaressa on toisessa päässä röntgenputki ja toisessa kuvailmaisin. Kokonaisuuteen kuuluu myös tutkimuspöytä, monitori sekä konsoli laitteen säätöä varten. Säteily aktivoidaan polkimesta.

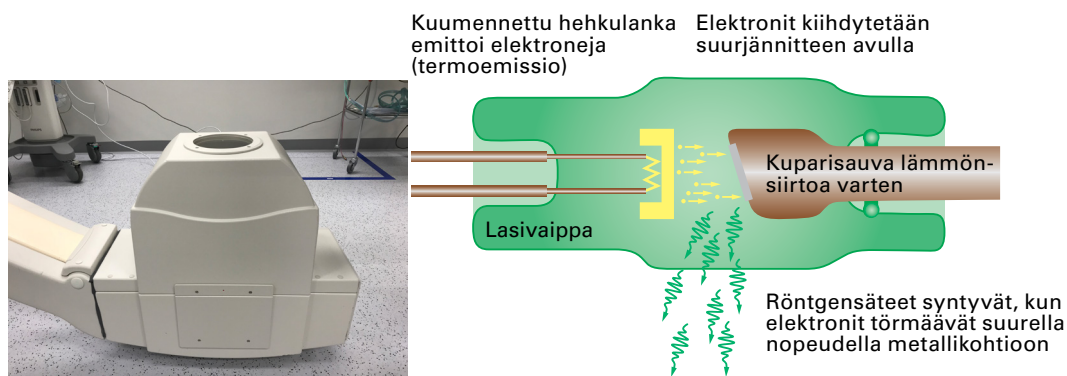
Angiografialaite on röntgenlaite, eli potilasta kuvataan röntgensäteilyn avulla. Näin ollen henkilökunnan säteilysuojelun takia (liitteet 1 ja 4) laitteistoon kuuluu myös säätöhuone. Säätöhuoneesta löytyvät tietokoneet ja konsolit angiografialaitetta varten (esim. etätoimenpidettä varten) sekä monitorit kuvananalyysia varten.

Angiografiatutkimus suoritetaan, jotta nähdään sydämen verenkierrosta huolehtivat sepelvaltimosuonet. Kuvauksissa käytetään sepelvaltimoihin ruiskutettavaa varjoainetta. Tiedyt röntgensäteet menevät ihmisen kehon läpi. Matkan varrella ne ovat vuorovaikutuksessa kehon osien kanssa. Analysoimalla kehon läpi menevien säteiden ominaisuuksia voidaan päätellä mitä sijaitsee kehon sisällä (säteiden matkalla) eli rekonstruoidaan kuva. Toistaiseksi tämä on ainoa teknologia, joka yhdistää kuvantamisnopeuden, hyvän kuvanlaadun, helppouden sekä antaa lääkärille riittävästi tilaa suorittaa toimenpide.

### L3.2 Röntgensäteily ja röntgenputki

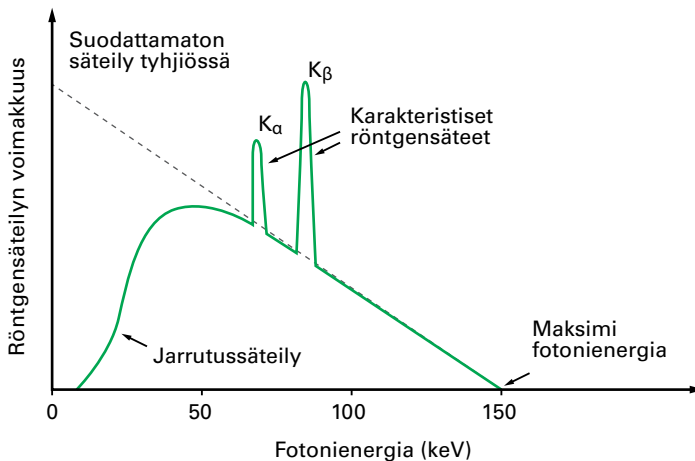
Röntgensäteily tulee röntgenputkesta (kuva L3.2). Lasisessa tyhjiöputkessa elektroneja kiihdytetään korkean jännitteen avulla (ns. putkijännite) ja sallitaan niiden törmätä metalliseen levyyn (ns. anodiin). Suurin osa röntgensäteilystä syntyy kun elektronit yhtäkkiä hidastuvat törmäyksen takia. Tätä röntgensäteilyä kutsutaan jarrutussäteilyksi. Putkijännite on tärkeä käsite, sillä se määrittelee säteilyn läpätunkevuuden ja energian: mitä korkeampi putkijännite on, sitä suurempi on säteilyn energia ja läpätunkevuus.

Elektronien törmäyksestä syntyvä säteily lähtee joka suuntaan, eikä vain yhteen suuntaan (kuva L3.2). Muuhun kuin yhteen suuntaan lähtevä säteily vaimennetaan voimakkaasti putken vaipassa. Pieni osa säteilystä voi siitä huolimatta tunkeutua vaipan läpi, joten on turvallisinta ottaa, mahdollisuuksien mukaan, etäisyyttä putkesta sen toiminnan aikana.



Kuva L3.2 Röntgenputki. Kuva vasemmalla: Joanna Sierpowska, Siun Sote.

Röntgensäteily on näkymätöntä ja hajutonta. Sitä ei voi havaita muulla tavalla kuin erikoismittareilla. Fysiikan näkökulmasta röntgensäteily on sähkömagneettista säteilyä, samoin kuin radioaallot, valo- ja ultraviolettisäteily. Niitä erottaa toisistaan kuitenkin energia, joka on paljon korkeampi röntgensäteilyn tapauksessa. Sähkömagneettisella säteilyllä on aina energiajakauma, niin sanottu spektri (esimerkiksi valon spektri nähdään sateenkaudessa). Jarrutussäteilyn (suurin osa röntgensäteilystä) spektri on jatkuva ja sisältää kaikkia energioita putkijännitteen määrittelemään maksimienergiaan asti (katkoviiva kuvassa L3.3). Tämän ominaisuuden tunteminen on tärkeää potilaan kannalta, sillä kaikella röntgensäteilyllä ei ole riittävästi energiaa läpäistä ihmisen kehoa. Jos säteily ei läpäise kehoa, sitä ei voida käyttää kuvan rekonstruointiin ja se vain lisää turhaan potilaan säteilyaltistusta.



Kuva L3.3. Röntgensäteilyn energiaspektri. Putkijännite määrittelee fotonien energian maksimin. Nk. karakterististen röntgensäteiden piikit ovat röntgensäteilyä, joka ei synny jarrutussäteilyn tapaan.

### L3.3 Suodattimet

Kuten edellä todettiin, pienienergisellä röntgensäteilyllä ei ole riittävästi energiaa läpäistä kehoa. Tätä säteilyä poistetaan spektristä suodattimen avulla, jolloin saadaan yhtenäisellä viivalla kuvassa L3.3 esitetty spektri. Poistamalla kuvantamisen kannalta tarpeetonta pienienergistä säteilyä, voidaan potilasannosta pienentää huomattavasti. Se, miten paljon pienienergistä säteilyä kannattaa suodattaa pois, riippuu kuvattavasta kohdasta. Mitä paksumpi on kohde, sitä enemmän voidaan suodattaa. Kaikkia pieniä energioita ei voida kuitenkaan suodattaa spektristä pois, sillä juuri pienienergiset fotonit tuottavat hyvänlaatuista kuvaa (hyvää kontrastia) vain niille spesifisen vuorovaikutuksen takia.

Pienienergistä säteilyä suodatetaan spektristä pois kupari- tai alumiinilevyn avulla, joka laitetaan röntgenputken eteen. Kupari suodattaa tehokkaammin kuin alumiini ja sitä tarvitaan vain noin kolmasosan alumiinin määrästä.

Kardiologisissa angiografialaitteistoissa käytetään tyypillisesti suodatuksena 1 mm alumiinia (Al) sekä 0,1–0,9 mm kuparia (Cu).

### L3.4 Jännite

Röntgensäteily tuotetaan röntgenputkessa kiihdyttämällä elektronit sähkökentässä. Sähkökentän voimakkuus säädetään vaihtamalla katodin ja anodin välisen jännitteen voimakkuus (kuva L3.2). Tämä jännite on juuri se arvo, joka nähdään konsolilla. Se vastaa myös spektrin maksimienergiaa. Toisin sanoen, spektristä löytyy fotoneita, joilla on kaikki mahdolliset maksimienergiaa pienemmät energiat, mutta ei sitä suurempia (kuva L3.3). Suodatuksen ja putkijännitteen avulla pyritään kaventamaan spektriä ja kohdistamaan se optimaalisen energian alueelle (kuva L3.3).

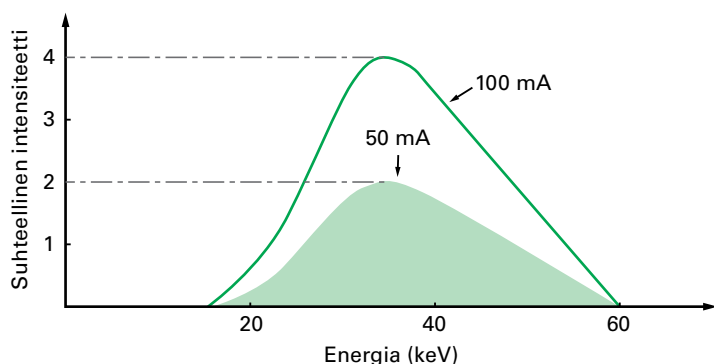
Jännite kuvaa säteilyn läpikulkevuutta. Mitä korkeampi on jännite, sitä suurempi on todennäköisyys, että säteily läpäisee kehon. Jos säteilyä verrataan maratonin juoksijoihin, niin jännite kuvaa juoksijoiden kuntoa. Mitä parempi on kunto (suurempi jännite), sitä suurempi

on todennäköisyys, että juoksija saapuu malliin (säteily läpäisee kehon kuvailmaisimelle asti). Täten suurikokoista potilasta ("pitempi matka maaliin") on kuvattava suuremmalla jännitteellä.

Sydänkuvauksissa käytettävillä energioilla (putkijännite tyypillisesti 80 kV–120 kV) vain muutama prosentti säteilystä saavuttaa kuvailmaisimen (voidaan hyödyntää kuvanmuodostukseen). Muu osa säteilystä absorboituu potilaaseen ja siroaa ympäristöön.

### L3.5 Virta

Röntgensäteily tuotetaan röntgenputkessa kiihdyttämällä elektronit sähkökentässä. Sähkökentässä liikkuvien elektronien määrä edustaa putken virtaa ja sen yksikkö on mA. Se on juuri se arvo, mikä nähdään konsolilla. Mitä suurempi on virta, sitä enemmän fotoneita syntyy (kuva L3.4).



Kuva L3.4. Virran vaikutus röntgensäteilyn energiaspektriin, kun putkijännite on vakio.

Mitä suurempi on virta, sitä enemmän säteilyä syntyy. Jos säteilyä verrataan maratonin juoksijoihin, niin virta kuvaa juoksijoiden määrää. Mitä enemmän on juoksijoita (suurempi virta), sitä suurempi on todennäköisyys, että tietty määrä juoksijoita saapuu maaliin (fotoneita kuvailmaisimelle asti) riippumatta niiden kunnosta (tietty määrä säteilyä tarvitaan saapumaan kuvailmaisimelle, jotta kuva pystytään rekonstruoimaan). Virta on myös suoraan verrannollinen potilaan säteilyaltistukseen.

### L3.6 Kentänrajoittimet

Kentänrajoittimet rajoittavat fyysisesti säteilykentän pinta-alan. Käytännössä rajoitin on röntgenputkessa sijaitseva metallipala, joka vaimentaa säteilyä hyvin. Rajoittimet voivat olla neliskulmaiset tai ympyränmuotoiset ja vastaavat aina kuvailmaisimen geometriaa. Kenttärajoittimet liikkuvat usein joka suuntaan symmetrisesti. Ainakin yhdellä laitevalmistajalla on epäsymmetriset rajoittimet käytössä.

Kun lääkäri valitsee tietyn kenttäkoon, röntgenputkessa oleva sähkömoottori ajaa rajoittimet automaattisesti oikeaan paikkaan. Lisäksi, jos lähde-kuvailmaisimen-etiäisyys (SID) muuttuu, rajoittimet siirtyvät automaattisesti siten, että kenttäkoko ei muutu.

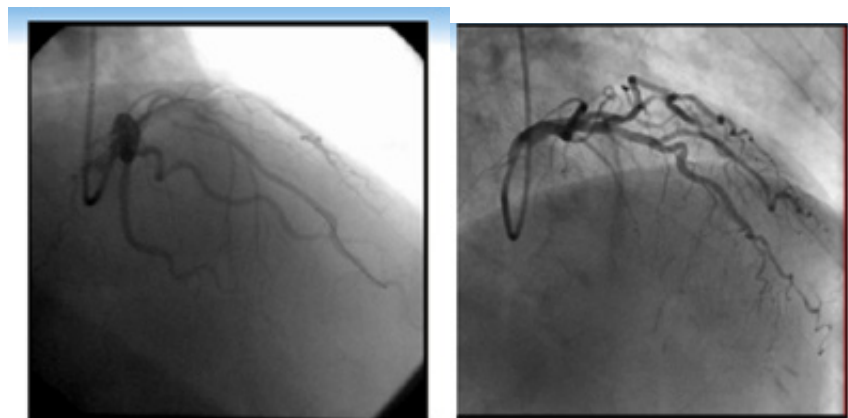
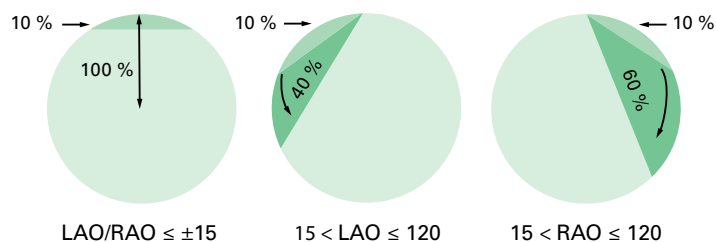
Kun rajoittimet ovat käytössä, monitorissa näkyy musta reuna sillä alueella jonka ne peittävät. Kuitenkin yhdellä laitevalmistajalla on laitteessaan ominaisuus, jossa mustan reu-

nan tilalle näytetään viimeinen (isolla kentällä otettu) LIH-kuva. Tämä auttaa kardiologia hahmottamaan potilaan anatomian paremmin, mutta sädeannos pysyy pienenä.

### L3.7 Kiilakaihdin

Kentänrajoittimen lisäksi angiografialaitteilla on kiilakaihdin. Se ei estä säteilykeilaa kokonaan, niin kuin tavallinen kentänrajoitin. Kiilakaihtimen tehtävä on estää ilmapitoisen kuvauskohdan ylivalottumista ja paksumman kohdan alivalottumista. Se parantaa huomattavasti kuvan laatua.

Kiilakaihdin voidaan tuoda säteilykenttään riippumatta kenttäkoosta. Kaihdin asettuu automaattisesti kallistusten mukaan (kuva L3.5), mutta toimenpiteen tekijä voi ohjelmoida sen paikan laitteen konsolilta.



Kuva L3.5. Kiilakaihtimen asennot (ylhäällä). Kiilakaihdin ei ole käytössä, kuvanlaatu huono (alhaalla vasemmalla). Kiilarajoitin on käytössä, kuvanlaatu paranee (alhaalla oikealla). Kuvat alhaalla: Tuomas Rissanen, Siun sote.

### L3.8 Hila

Kaikki kuvailmaisimelle saapunut säteily käytetään kuvan muodostumiseen. Kuitenkin, jos säteilyn (fotonien) tarkka vuorovaikutuspaikka ei ole tiedossa (esimerkiksi koska se on sironnut potilaan kehossa monta kertaa), niin kuvaa ei voida rekonstruoida tarkasti ja kuvan laatu huononee. Hilan tehtävä on vähentää kuvailmaisimelle tulevan hajasäteilyn eli sironneen säteilyn määrää ja siten parantaa kuvan kontrastia.

Hila sijaitsee kuvailmaisimen edessä ja kasvattaa potilaan annosta, sillä se vähentää ku-

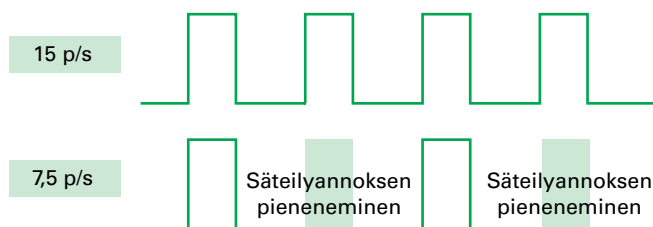
vaihtamiseksi saapuvan sironneen (kuvan laadun kannalta huonon) säteilyn määrää. Hilan käyttö on tarpeen, jos kuvattavassa kohteessa sironneen säteilyn määrä voi olla suuri, esim. paksussa kohteessa kuten rintakehässä.

### L3.9 Pulssi ja pulssinopeus

Sama säteily määrä voidaan saavuttaa joko kasvattamalla röntgenputken virtaa tai pidentämällä kuvausaikaa, jolloin röntgenputki tuottaa säteilyä. Säteily määrän kuvaamiseen käytetään usein virran ja ajan tuloa (mAs).

Kardiologiassa käytetään nykyään usein ns. pulssoivaa säteilyä potilaan altistuksen vähentämiseksi. Tämä tarkoittaa sitä, että säteilyä ei tuoteta koko ajan kun kardiologi polkee poljinta. Aika on jaettu pätkiin, jolloin säteily on päällä. Esimerkiksi yhdessä sekunnissa säteily voidaan laittaa päälle lyhyeksi ajaksi ja pois päältä 15 kertaa (kuva L3.6). Tätä kutsutaan pulssinopeudeksi, tässä tapauksessa 15 p/s. Aika, jolloin säteily on päällä, on yksi pulssi. On tärkeä ymmärtää että pulssin pituus ei ole välttämättä sama kuin aika, jolloin säteily on pois päältä.

**Pulssattu läpivalaisu**



Kuva L3.6. Pulssoiva säteily.

Kuvanlaatu on samanlainen riippumatta siitä käytetäänkö jatkuvaa vai pulssoivaa säteilyä. Kuitenkin, jos pulssinopeus on hyvin matala (esim. 1 p/s), voi tuntua että läpivalaisu ”pät-kii”. Silmän havaitsemiskyvyn vuoksi 30 p/s vastaa käytännössä jatkuva säteilytystä, mutta altistus on kuitenkin pienempi.

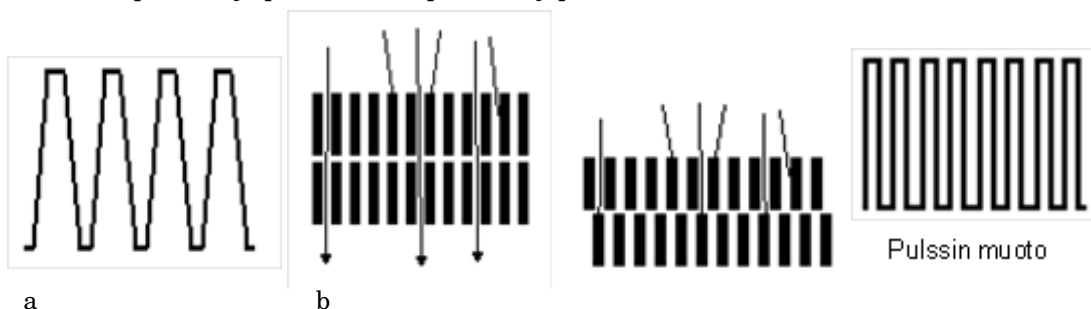
Potilaan säteilyaltistus pienenee kun pulssinopeus/frame-nopeus pienenee. Säteilyaltistus ei kuitenkaan välttämättä pienene samassa suhteessa kun pulssi(frame)nopeus. Joskus, varsinkin suurikokoisen potilaan tapauksessa, kone voi automaattisesti lisätä pulssinopeutta tai virtaa varmistaakseen hyvän kuvan laadun. Molemmissa tapauksissa potilaan altistus kasvaa. Pulssinopeuden tarkka vaikutus altistukseen on laitevalmistajakohtainen.

Sepelvaltimokuvauksissa käytetään tyypillisesti pulssinopeuksia 7,5 p/s tai 15 p/s. Tahdistinasennuksissa ja elektrofysiologisissa tutkimuksissa voidaan usein läpivalaista pienemmillä säädöillä (3,75 p/s).

### L3.10 Hilaohjattu läpivalaisu

Perinteinen pulssoiva läpivalaisu on toteutettu niin, että säteilyn tuotto katkaistaan välillä laittamalla jännite (kV) nopeasti päälle ja pois päältä. Tämä on teknisesti haastavaa, ja pulssilla on aina jokin nousu- ja laskuaika (kuva L3.7a). Nousu- ja laskuaikana syntyvät pien-energiset fotonit lisäävät potilaan ihoannosta, huonontavat aikaresoluutiota eivätkä paranna kuvan laatua.

Tämä ongelma ratkaistaan niin, että röntgenputken korkea jännite (kV) on koko ajan päällä, mutta elektronivirta anodin ja katodin välillä saadaan katkaistua röntgenputken sisäisen hilan avulla (kuva L3.7b). Tämän teknisen ratkaisun ansiosta pulssit ovat lähes neliömuotoiset, resoluutio paranee ja potilas annos pienenee jopa 25 %.



Kuva L3.7. a) Perinteisesti toteutettu pulsssoiva säteily. b) Hilaohjauksella tuotettu pulsssoiva säteily.

### L3.11 Automaattinen putkivirran ja jännitteen säätö (ABC)

Angiografialaitteistossa automaattinen putkivirran ja jännitteen säätö (automatic brightness control, ABC) huolehtii siitä, että läpivalaisussa kuvan kirkkaus kuvamonitorilla pysyy vakiona, vaikka kuvattaisiin eri paksuisia kehon osia. Tämä on mahdollista saavuttaa muutamalla virran (mA) ja jännitteen (kV) arvoja siten, että kuvailmaisimelle tulee aina saman verran säteilyannosta. Teknisesti tämä on ratkaistu niin, että kuvailmaisimeen on upotettu mittauskammiot, jotka tarkkailevat sen pintaan tulevaa säteilymäärää. Kun riittävä säteilymäärä kuvan rekonstruoinniseksi on saavutettu, säteilyn tuotto katkaistaan.

On tärkeä muistaa, että ABC ei välttämättä takaa sitä, että potilaan annos on mahdollisimman pieni. ABC on kätevä eri paksuisia (esimerkiksi käsi vs vatsa) tai koostumukseltaan erilaisia (esimerkiksi keuhko vs luu) kehon osia kuvattaessa, sillä kuvan laatu pysy vakiona. Potilaan säteilyannos riippuu kuitenkin laitteen asetuksista. Laitteen ohjauspaneelissa on tavallisesti kaksi tai kolme säätönappia (kuva L3.8), joihin on ohjelmoitu eri ABC:n tasot (esimerkiksi low, normal, high). Riippuen valitusta ABC-tasosta, potilaan annos vaihtelee ja ABC-tason valinta vaikuttaa myös kuvan laatuun. Jos suurikokoista potilasta kuvataan "low"-asetuksella, kuvan laatu voi olla liian huono diagnoosin tai toimenpiteen tarkoituksen kannalta. High-asetuksella kuvan laatu tavallisesti paranee, mutta myös potilaan säteilyannos kasvaa.



Kuva L3.8. Esimerkki ABC-tasojen säätönapeista laitteen ohjauspaneelissa. Kuva: Joanna Sierpowska, Siun Sote.



### L3.12 Suurennos

Kuten edellä todettiin (kohta L3.11), kuvan kirkkaus kuvamonitorilla pyritään pitämään vakiona toimenpiteen aikana riippumatta kuvattavasta kohteesta. Jos säteilykenttään tulee voimakkaasti säteilyä vaimentava kehon osa (esimerkiksi selkäranka), kuvan kirkkaus pyrkii muuttumaan siihen verrattuna, jos kuvassa näkyi pelkästään sydän ja keuhkot. Kuvamonitorin elektroniikka ”viestii” asiasta röntgenputkelle ja laite muuttaa röntgenputken virtaa tai jännitettä (mA tai kV) niin, että kuvan kirkkaus pysyy samana.

Kun kardiologi päättää käyttää suurennosta (digitaalinen suurennos), osa kuvasta suurennetaan koko monitorin kokoiseksi. Koska vain pieni osa kuvasta suurennetaan (esimerkiksi puolet sydäimestä koko näytölle), suurennoksessa kuvan kontrasti muuttuisi. Tämä muutos voisi haitata kardiologiaa, joten kuvamonitorin elektroniikka jälleen ”viestii” asiasta röntgenputkelle ja laite muuttaa jälleen röntgenputken virtaa tai jännitettä (mA tai kV). Käytännössä muutos tarkoittaa myös potilaan säteilyannoksen kasvamista. Suurennoksen tapauksessa potilaan säteilyannos kasvaa, vaikka kuvattavan kohteen tiheys ei ole muuttunut, niin kuin ABC:n käytön tapauksessa (kohta L3.11).

On tärkeää ymmärtää suurennoksen ja kentän rajoittimien käytön (geometrinen suurennos) erot. Kun kardiologi käyttää kentän rajoittimia, voimakkaasti säteilyä vaimentavat levyt röntgenputken edessä estävät säteilyn pääsyn osalle kehoa. Kuvamonitorilla tämä näkyy mustana raitana. Kentän rajoittimia käytettäessä kuvasuhde (kuvan kontrasti) ei siis muutu, joten ei ole tarvetta muuttaa kuvaustekniikka (mA tai kV).

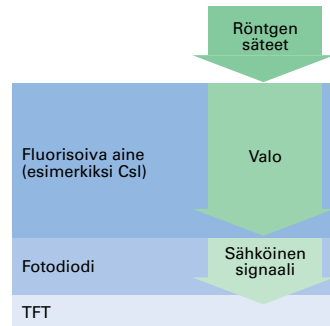
Tämän perinteisen suurennoksen lisäksi uusissa laitteissa on käytössä digitaalinen suurennos. Se toimii vastaavalla tavalla kuin valokuvan suurentaminen tietokoneen näytöllä: röntgenkuva suurennetaan reaaliajassa toimenpiteen aikana. Tämän suurennoksen etu on se, että se ei vaikuta annokseen.

### L3.13 Kuvailmaisin

Kuvailmaisimen voidaan ajatella vastaavan vanhanaikaista kameran filmiä: siihen tallentuu kuva. Tämä vertailu ei ole tarkasti oikea, sillä ilmaisim vain vastaanottaa tietoa potilaan läpi menevästä säteilystä ja lähettää tiedon eteenpäin siinä muodossa, jota tietokoneen on helppo käsitellä. Kuva tallennetaan tietokoneen kovalevylle.

Perinteisesti angiografialaitteissa kuvailmaisimena on käytetty kuvavahvistinta (kuva L3.9). Nykyään uusimissa laitteissa kuvailmaisimena toimii digitaalinen taulukuvailmaisim. Kuvailmaisimen sisällä on cesiumjodidikidekerros (kuva L3.9), joka muuttaa säteilyn ensin valoksi ja sitten sähkösignaaliksi (joka sen jälkeen käsitellään tietokoneella). Tällaisen ilmaisimen etu on hyvä kuvanlaatu (ei kuvavääristymiä), pieni koko ja tehokkuus.

Taulukuvailmaisimia löytyy erikokoisina. Erikoiset kuvailmaisimet soveltuvat eri toimenpiteisiin esimerkiksi pienet kuvailmaisimet soveltuvat kardiologiaan jyrkkien projektioiden takia ja isot kuvailmaisimet radiologiaan. Kardiologiaan suunnitelluissa angiografialaitteissa on tyypillisesti 20 cm x 20 cm tai 25 cm x 25 cm kuvailmaisimien koot, joskin erikoistoimenpiteissä tarvitaan usein suurempiakin kuvailmaisimikokoja.



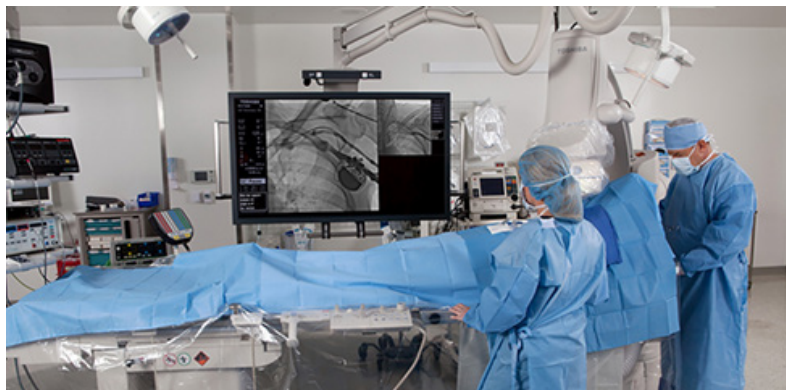
Kuva L3.9. Taulukuvailmaisain (ylhäällä) ja perinteisellä kuvavahvistimella varustettu angiografialaitteisto (alhaalla). Kuva: Joanna Sierpowska, Siun Sote.

Kuvailmaisain yhdessä kuvan jälkikäsittelyn kanssa vaikuttaa potilaan säteilyaltistukseen. Digitaaliset kuvailmaisimet pystyvät tuottamaan kuvaa pienemmällä säteily määrällä vanhoihin kuvailmaisimiin verrattuna. Uudet laskenta-algoritmit poistavat kohinaa tehokkaasti ja mahdollistavat kuvan käsittelyn niin, että yksityiskohdat korostetaan aina toimenpiteen tarpeen mukaan.

### L3.14 Kuvamonitori

Toimenpidesalissa käytetään yhtä suurikokoista kuvamonitoria (kuva L3.10). Kuvamonitorin laatu on tärkeä, sillä päätökset toimenpiteen kulusta tehdään monitorin kuvan perustella. Kuvamonitorilla on oltava tietty kirkkaus, kuva-alassa ei saa olla virheitä, monitorin pinta ei saa olla heijastava ja se on voitava helposti puhdistaa.

Iso monitori näyttää kuvan isona. On mahdollista, että tällainen näyttö vähentää suuren-  
nuksen käyttöä ja sitä kautta potilaan säteilyaltistusta.



Kuva L3.10. Isokokoinen kuvamonitori toimenpidesalissa. Kuva: Tuomas Rissanen, Siun sote.

### L3.15 Kuvan käsittely

Laitteen käyttöönoton yhteydessä optimoidaan kuvanlaatu. Se tehdään yhteistyössä laitetoimittajan (kuvanlaatuspesialistin) kanssa. Tällainen toimintatapa on turvallisin vaihtoehto, sillä nykyiset laskenta-algoritmit ovat monimutkaisia ja usein yhden parametrin arvon muuttaminen vaikuttaa moneen asiaan. Tyypillisesti vain laitetoimittajan edustajalla on riittävä tietotaito ja ymmärrys parametrien vaikutuksesta. Lopputuloksena on, että kerran optimoitua kuvanlaatua muutetaan harvoin.

Kardiologilla on kuitenkin halutessaan seuraavat (tyypilliset) mahdollisuudet jälkikäsitellä kuvia:

- kuvan rajausta
- käänteinen kuva (Invert)
- reunakorostus
- kontrastin ja kirkkauden säätö
- digitaalinen suurennos
- kommenttien lisäys
- mittaukset, usein analysointiohjelmien avulla (esim. QCA ja LVA ohjelmia).

Tämä jälkikäsitteleminen tapahtuu joko kuvaushuoneessa, heti kuva- tai LPV-sarjan oton jälkeen tai säätöhuoneen puolella. Jälkikäsitteleminen ei muuta kuvanlaatua pysyvästi, vain muutokset näkyvät vain yhdessä kuvassa (kuva- tai LPV-sarjassa).

### L3.16 Säteilykeilan kenttäkoko (FOV)

FOV (Field Of View) tarkoittaa säteilykeilan kenttäkokoja. Se on alue, joka säteilytetään ja josta rekonstruoidaan kuva. Laaja valikoima kenttäkokoja löytyy laitteen konsolista. Mitä pienempi on kenttäkoko, sitä suurempi kuva on kuvamonitorissa. Tämä on niin sanottu suurennos. Pienempiä kenttäkokoja (eli suurennusta) tarvitaan, kun halutaan kuvata pienet yksityiskohdat.

### L3.17 Pöytä

Pöydän tarkoitus on antaa tukea potilaalle tutkimuksen aikana. Pöydät on suunniteltu kestävästi tietyn määrän painoa, mutta on muistettava, että kaikki pöytään kiinnitettävät varusteet (esim. lyijylamellit) kuormittavat sitä jo valmiiksi.

Pöytä ei saa vaimentaa säteilyä liikaa, koska se huonontaisi kuvanlaatua (kontrastia ja signaali-kohina suhdetta). Hiilikuitu on hyvä materiaali pöydäksi. Se on vahva ja vaimentaa säteilyä vain vähän. Potilaan mukavuuden vuoksi pöydälle laitetaan usein erilaiset, säteilyn vuorovaikutuksen kannalta sopivat patjat.

### L3.18 Toimenpiteen ohjaus: jalkapoljin ja käyttöpaneeli

Angiografialaitteistoon kuuluu jalkapoljin, josta läpivalaisua ja kinekuvausta käytetään. Riippuen laitteen toimittajasta polkimesta löytyy erilaisia toimintoja. Esimerkiksi siitä voi käyttää leikkausvaloja.

Käyttöpaneelit ovat pöytään kiinnitettyjä ohjausyksiköitä. Niistä voidaan ohjata toimenpidenkulkua, esimerkiksi säätää annostasoja, vaihtaa monitorin näkymät, ottaa läpivalaisukuvia talteen jne.

### L3.19 Kuvausmoodit: läpivalaisu, kinekuvaus ja rotational-angiografia (KKTT)

#### L3.19.1 Läpivalaisu ja kinekuvaus

Kardiologian röntgenlaitteissa on kaksi kuvausmoodia, jotka mahdollistavat annoksen optimoinnin: läpivalaisu ja kuvaus (ns. kine tai kinekuvaus).

Läpivalaisussa säteilyä tuotetaan jatkuvasti. Säteily on kuitenkin yleensä pulssoivaa (kohta L3.9). Läpivalaisu tuottaa potilaalle pienemmän säteilyaltistuksen kuin kinekuvaus. PCI-toimenpide tehdään 95 %:sti läpivalaisun avulla, mutta se muodostaa vain 40 % potilaan ja henkilökunnan säteilyaltistuksesta. Läpivalaisua voidaan käyttää silloin, kun kuvan laadulla ei ole suurta merkitystä esimerkiksi toimenpiteen alkuvaiheessa, kun suonet etsitään. Perinteisesti läpivalaisua ei ole voinut tallentaa, mutta uusien laitteiden myötä sekin on tullut mahdolliseksi. Vaikka tavanomaiseen röntgenkuvaukseen verrattuna läpivalaisukuvaan tarvittava säteily määrä on suhteellisen pieni, suuret säteilyaltistukset johtuvat pitkistä läpivalaisuajoista.

Radiologian perinteisessä natiivikuvantamisessa otetaan potilaasta yksi staattinen kuva. Invasiivisessa kardiologiassa otetaan sarja staattisia kuvia, jolloin tuloksena saadaan dynaamiset (elo)kuvat liikkuvasta kohteesta (esimerkiksi sydäimestä tai varjoaineen liikkumisesta arteriassa). Tätä kutsutaan kinekuvaukseksi. Kuvat näytetään ilman aikaviivettä kuvamonitorilla, jolloin toimenpiteen tekijä voi seurata työnsä edistymistä ja sen vaikutuksia reaaliaikaisesti.

Kinekuvaus tuottaa läpivalaisua enemmän säteilyaltistusta potilaalle, mutta myös paremman kuvanlaadun. Kinekuvauksesta potilaalle ja henkilökunnalle kertyy noin 60 % kokonaissäteilyaltistuksesta, vaikka tätä moodia käytetään vain noin 5 % toimenpidelajista. Kinekuvausta käytetään, kun tarvitaan hyvää kuvan laatua (ja vanhoissa laitteissa myös silloin, kun kuvaus on tallennettava), esim. varjoaineen ruiskutuksen aikana, jolloin pienten kalkkeutumien visualisointi on tärkeää. Frame-nopeus on kinekuvaukseen liittyvä käsite ja tarkoittaa, kuinka monta kuvaa otetaan aikayksikössä.

Eri kuvausmoodien potilaalle tuottamia annoksia on vaikea verrata keskenään, sillä niitä mitataan eri tavoilla; Taulukko L3.1 antaa kuitenkin käsityksen eri kuvausmoodien tuottamasta säteilyaltistuksesta. Lisäksi uusissa laitteissa läpivalaisu- ja kinekuvausmoodeilla on kummallakin yhdestä kolmeen eri annosasetusta (jotka vaikuttavat myös kuvan laatuun) esimerkiksi low, normal ja high. Nämä asetukset antavat lisämahdollisuuden säteilyn käytön optimointiin.

Taulukko L3.1. Potilaan säteilyaltistus eri kuvausmoodeissa.

Kuvausmoodi	Annos	Annosnopeus	Annos/pulssi & annos/frame
Natiivi keuhkokuva	0,03 mSv*		
Läpivalaisu**		0,03–0,3 mGy/s	0,005–0,04 mGy/pulssi
Kinekuvaus**		0,6–5 mGy/s	0,04–0,25 mGy/frame

\* Natiivikuvan tapauksessa annoksen yksikkönä on Sievert (Sv), koska käytetty efektiivistä annosta (ks. liite 2).

\*\* Läpivalaisun ja kinekuvausten tapauksessa yksikkönä on Gray (Gy), koska ilmoitettu annos kuvaa säteilyn absorptiota ilmassa.

### L3.19.2 Kartiokeilatografia (KKT); rotational angiografia

Uudet angiografialaitteistot, joissa on digitaalinen taulukuvailmaisim, mahdollistavat kolmiulotteisen kuvantamisen toimenpiteen aikana. Rotationalangiografiaa kutsutaan myös kartiokeilatografiaksi, koska säteilykeila on kartion muotoinen.

Kuvausta varten käytetään samaa laitteistoa, jolla tehdään toimenpide. C-kaari tulee asettaa niin, että kuvattava kohde osuu röntgenputken ja kuvailmaisimen keskelle (ns. isosentriin). Laitteesta riippuen C-kaari pyörii 180°–360° tämän isosentrin ympäri. Pyörähdys kestää noin 5–20 s, jona aikana otetaan sarja röntgenkuvia. Niistä tietokoneohjelmisto rekonstruoi kolmiulotteisen kuvapakan. Näin käsitelty kuva voidaan ”skrollata” kuvamonitorilla aksiaali-, sagitaali- ja frontaalisuunnissa tai se voidaan katsoa 3D-kokonaisuutena, joka voidaan tarvittaessa suurentaa tai kääntää.

Eri laitevalmistajat käyttävät tälle kuvantamismuodolle erilaisia nimityksiä, esimerkiksi Innova CT HD (GE), DynaCT (Siemens) tai XPerCT (Philips).

### L3.20 Toimenpidesuunnat

Toimenpidesuunnalla tarkoitetaan kuvailmaisimen kallistuskulmaa potilaan AP-suuntaan nähden. Optimaalinen toimenpidesuunta riippuu toimenpiteestä. Esimerkiksi pallolaajennus tehdään usein käyttäen suuntaa, jossa kohdesuoni näkyy ilman lyhentymistä (siis mahdollisimman samassa tasossa kuvaussuunnan kanssa), ahtauma ja mahdolliset haaraumakohdat näkyvät mahdollisimman hyvin. Taulukossa L3.2 on esitetty esimerkkejä suonten näkyvyydestä eri projektiioilla (41) ja tyypillisiä annosnopeuksia niiden käytössä (42) (vrt. myös kohta 4.6).

Taulukko L3.2. Suonten näkyvyys eri projektiolla (+++ : erittäin hyvä, ++ : hyvä, + : kohtalainen ja - : tieto puuttuu) ja tyypillisiä annosnopeuksia henkilökunnalle ( $\mu\text{Sv/h}$ ) niiden käytössä. Lämpivalaisuohjelmana FL(-) 6 p/s ja kuvasarjana Koronaari 15 p/s. Kuvauksissa ei rajauksia eikä suurennoksia (zoom).

Suoni ja segmentti	LAO 40-50, CAU 25-40 (spider)	AP/RAO 5-15, CAU 30	RAO 30-45, CAU 30-40	AP/RAO5-10, CRA 35-45	LAO 30-45, CRA 25-35	LAT $\pm$ caudo-cranial 10-30	LAO 45-60	RAO 30-45
ostiaalinen LM	++	+	+	+++	+++	-	-	-
LM bifurkaatio	+++	+++	++	-	-	-	-	-
proksimaalinen LAD	++	++	+++	++	++	+	-	-
keski-LAD	-	+	1	+++	++	++	-	-
distaalinen LAD	+	+	+++	+	-	+++	-	++
LAD/diagonaali	++	+	-	++	+++	-	-	-
proksimaalinen LCX	+	+++	+++	-	-	-	-	-
distaalinen LCX	+	+	++	+++	++	+	++	-
OM bifurkaatio	++	+++	++	-	-	-	+	-
proksimaalinen-RCA	-	-	-	+	+++	-	++	-
keski-RCA	-	-	-	-	+	+++	++	+++
distaalinen RCA/haarakohta	-	-	-	+++	+++	-	++	-
PDA	-	-	-	+++	++	-	+	++
PLV	+	-	-	+++	++	+	+	-
LIMA-LAD anastomoosi	+	-	-	-	-	+++	-	-
Kardiologi – Lämpivalaisu Kuvasarja	102 1 980	27 650	52 1 030	14,1 230	21 300	78 1 290	6,6 120	13,3 177
Avustaja – Lämpivalaisu Kuvasarja	13 210	12,4 310	27 540	14,1 210	11,4 153	17,6 420	4,9 116	6,4 104
Potilashoitaja– Lämpivalaisu Kuvasarja	93 1 820	46 890	201 3 500	135 2 300	61 1 630	21 290	31 630	74 1 340

## Liite 4

### Lainsäädäntöön pohjautuvat vaatimukset

Säteilylainsäädännössä (Säteilylaki (6), Säteilyasetus (43) ja Sosiaali- ja terveysministeriön päätös säteilyn lääketieteellisestä käytöstä (44)) annetaan perusvaatimukset säteilysuojelusta. STUKin julkaisemissa ST-ohjeissa (45) on annettu tarkempia ohjeita siitä, miten voidaan toimia lainsäädännön vaatimusten mukaisesti. STUKin julkaisemissa oppaissa (STUK opastaa -sarjan julkaisut, kuten tämä opas) annetaan puolestaan monipuolista taustatietoa ja suosituksia siitä, mitä voidaan pitää hyvänä käytäntönä säteilyn käytössä. Lainsäädäntöä uudistetaan parhaillaan EU:n uuden direktiivin (46) mukaiseksi, mutta nykyisessä lainsäädännössä asetetut vaatimukset tulevat pääosin säilymään. Uudistuksen yhteydessä osa nykyisissä ST-ohjeissa annetuista vaatimuksista tullaan siirtämään lainsäädäntöön ja ST-ohjeet tulevat sen jälkeen olemaan hyvän käytännön suosituksia.

Seuraavassa esitetään lyhyt katsaus tärkeimmistä, terveydenhuollon säteilyn käyttöä koskevista lainsäädännön vaatimuksista, jotka koskevat myös säteilyn käyttöä kardiologiassa.

#### L4.1 Vastuujärjestelyt

Säteilylain (6) mukaan toiminnan harjoittaja on velvollinen huolehtimaan toiminnan järjestämisestä ja toteuttamaan sellaiset toimenpiteet säteilyturvallisuuden parantamiseksi, joita niiden laatuun ja kustannuksiin sekä säteilyturvallisuutta parantavaan vaikutukseen katsoen voidaan pitää perusteltuina.

Säteilyn käyttöön on oltava STUKin myöntämä *turvallisuushupa*. Turvallisuushupaa varten on tehtävä säteilyn käyttöorganisaatiota koskeva selvitys (*organisaatioselvitys*), jossa nimitään *säteilyn käytön turvallisuudesta vastaava johtaja*. Organisaatioselvityksessä esitetään myös riittävät tiedot säteilyn käyttöön osallistuvien henkilöiden pätevyydestä, säteilyn käytön turvallisuuden kannalta merkittävistä tehtävistä ja vastuunjaosta sekä muista järjestelyistä turvallisuuden varmistamiseksi säteilyn käyttöpaikalla. Hyvän *turvallisuuskulttuurin* luominen ja ylläpitäminen edellyttää kaikkien työntekijöiden osallisuutta sekä ylimmän johdon sitoutumista ja näkyvää johtajuutta. Turvallisuushupan myöntämistä, toiminnan harjoittajan vastuuta, turvallisuuskulttuuria sekä turvallisuuden suunnittelua ja ylläpitoa on käsitelty ohjeessa ST 1.1 (47). Lisätietoja organisaatioselvityksestä, vastaavasta johtajasta ja muista vastuujärjestelyistä on annettu ohjeessa ST 1.4 (5) ja vastuuhenkilöiden pätevyyksistä ohjeessa ST 1.8 (8).

Säteilylle altistavasta toimenpiteestä *kliinisessä vastuussa* oleva lääkäri vastaa toimenpiteen lääketieteellisestä oikeutuksesta ja optimoinnista sekä osaltaan toimenpiteen tulosten kliinisestä arvioinnista. Kliininen vastuu edellyttää toimenpiteen laadun mukaista pätevyyttä kliinisen vastuun ottamiseen. Kliiniseen vastuuseen kuuluu mm. varmistautuminen siitä, että toimenpiteen suorittajalle annetaan toimenpiteen optimoimiseksi tarpeelliset erityisohjeet ja potilaalle tai muulle asianosaiselle annetaan tieto säteilyaltistuksen aiheuttamasta mahdollisesta terveyshaitasta. Säteilylle altistavaan toimenpiteeseen lähteen antavan lääkärin tulee osaltaan arvioida toimenpiteen oikeutus. Tätä varten hänen tulee hankkia saatavilla oleva aiempia tutkimuksia ja hoitoa koskeva olennainen tieto, sekä jos toimenpiteen oikeutuksen



arvioiminen edellyttää, konsultoida tarpeen mukaan asiantuntijoita ennen lähetteen antamista.

Säteilylle altistavan *toimenpiteen suorittajalla* on oltava toimenpiteen laadun edellyttämä pätevyys ja kokemus. Toimenpiteen suorittajan erityisenä velvollisuutena on varmistaa, että säteilylähteen varo- ja suojausjärjestelmät ovat kunnossa ja käytettävät laitteet toimivat moitteettomasti, ja että potilas on asianmukaisesti suojattu ja säteilyaltistus rajattu niihin kehon osiin, joihin säteily on tarkoitus kohdistaa. Säteilyasetuksen (43) mukaan röntgentoiminnassa on käytettävä lääketieteellisen fysiikan asiantuntemusta säteilysuojelun, optimoinnin, laadunvarmistuksen ja säteilyannosten mittaamisen suunnittelussa ja seurannassa.

#### L4.2 Työntekijöiden säteilysuojelu

Säteilylain (6) mukaan toiminnan harjoittajan on suunniteltava ja toteutettava työntekijöiden suojelu selvittämällä ennalta työntekijöihin kohdistuva säteilyaltistus ja siihen vaikuttavat tekijät, ottaen huomioon myös tavanomaisesta poikkeavat työskentelyolosuhteet. Työskentelypaikat jaetaan tarvittaessa valvonta-alueisiin ja tarkkailualueisiin. Ne työntekijät, joiden säteilyaltistusta on seurattava henkilökohtaisesti, on luokiteltava erilliseksi ryhmäksi (säteilytyöluokka A). Säteilytyöluokkaan A kuuluvien työntekijöiden terveystarkkailua varten on nimettävä lääkäri (vastaava lääkäri). Lisätietoja työskentelypaikkojen jaottelusta on annettu ohjeessa ST 1.6 (48), säteilytyötä tekevien luokittelusta ja annosvalvonnasta Säteilyasetuksessa (43) ja ohjeissa ST 1.6 (48) ja ST 7.1 (49) ja työntekijöiden terveystarkkailusta ohjeessa ST 7.5 (50).

Kardiologiassa läpivalaisulaitteen käyttötila on säteilytyksen aikana valvonta-alue. Valvonta-alueeksi voidaan määritellä myös säätö- ja ohjaustila silloin, kun ohjauslaitteet sijaitsevat vain osittain suojatussa tilassa tai ylhäältä tai sivulta avoimessa tilassa.

Kardiologiassa säteilytyöluokkaan A kuuluvat ne työntekijät jotka työskentelevät säännöllisesti valvonta-alueella eli angiografialaboratorioissa. Säteilytyöluokkaan B kuuluvat ne säteilytyötä tekevät työntekijät, jotka työskentelevät vain satunnaisesti angiografialaboratorioissa.

Säteilyasetuksessa (43) on annettu työntekijöiden annosrajat säteilytyössä. Säteilytyöstä työntekijälle aiheutuva efektiivinen annos ei saa ylittää keskiarvoa 20 mSv vuodessa viiden vuoden aikana eikä minkään vuoden aikana arvoa 50 mSv. Silmän mykiön ekvivalenttiannos ei saa ylittää arvoa 150 mSv vuodessa eikä käsien, jalkojen tai ihon minkään kohdan ekvivalenttiannos arvoa 500 mSv vuodessa. Lainsäädännön uudistuksessa silmän annosraja tullaan pudottamaan arvoon 20 mSv (ks. liite 1).

STUKin ylläpitämään annosrekisteriin tallennetaan kunkin työntekijän tunnistetiedot sekä tiedot säteilytyön laadusta, käytetyistä säteilyaltistuksen seurantamenetelmistä ja säteilyaltistukseen vaikuttavista tekijöistä sekä tiedot säteilyaltistuksen määrityksen tuloksista. Toiminnan harjoittaja vastaa siitä, että rekisteröitävät tiedot ja säteilyaltistuksen seurannan tulokset toimitetaan STUKille sen määräämällä tavalla eriteltyinä siten, että jokaisen työntekijän säteilyaltistus voidaan määrittää. Lisätietoja annosrekisteristä ja tietojen ilmoittamisesta on annettu ohjeessa ST 7.4 (51).

Toiminnanharjoittajan on varmistuttava siitä, että ulkopuolisille työntekijöille (esimerkiksi toimenpidehuoneessa oleville laite-esittelijöille) on, tarpeen niin vaatiessa, järjestetty annos- ja terveystarkkailu, ja että heidät on perehdytetty turvalliseen työskentelyyn. Vastuu ulkopuo-

listen työntekijöiden annostarkkailusta on toiminnanharjoittajalla. Ulkopuolisen työntekijän annostiedot on toimitettava annosrekisteriin. Terveystilan seuranta on ulkopuolisen työntekijän työnantajan vastuulla.

#### L4.3 Säteilylaitteet ja niiden käyttö sekä laadunvarmistus

Säteilylain (6) mukaan säteilylaitteen, sen käyttöpaikan sekä siihen liittyvien laitteiden ja varusteiden tulee olla sellaiset, että säteilylaitetta voidaan käyttää turvallisesti. STUKin päätöksessä (52) on annettu laitteiden käytönaikaiset hyväksyttävyyssvaatimukset. Säteilyasetuksen (43) mukaan jokaisen radiologisen laitteen käyttötilassa on oltava laitetta käyttäville henkilöille tarkoitettut tavanomaisten toimenpiteiden suorittamista koskevat kirjalliset ohjeet. STM:n asetuksen (44) mukaan säteilylle altistavasta toimenpiteestä tulee tallentaa tiedot, joiden perusteella tutkittavalle tai hoidettavalle henkilölle toimenpiteestä aiheutunut säteilyannos voidaan tarvittaessa määrittää.

Säteilylain (6) mukaan toiminnan harjoittaja on velvollinen toteuttamaan suunnitellut ja järjestelmälliset toimenpiteet sen varmistamiseksi, että säteilylähteet sekä niihin liittyvät laitteet ja välineet ovat kunnossa ja että niiden käyttöä koskevat ohjeet ja menettelyt ovat asianmukaiset. Säteilyasetuksen (43) mukaan laadunvarmistustoiminnot on määriteltävä kirjallisesti laadunvarmistusohjelmassa. Laadunvarmistusohjelmassa on esitettävä radiologisten laitteiden toimintakunnon ja suoritusominaisuuksien valvontaan kuuluvat päätehtävät. Yksittäisten laitteiden valvontaa koskevat vastuut ja toimenpideohjeet määritellään laitekohtaisesti. Erityistä huomiota on kiinnitettävä suuria säteilyannoksia aiheuttavien toimenpiteiden ja lapsiin kohdistuvien toimenpiteiden laadunvarmistustoimintoihin. Laadunvarmistusohjelmaan on sisällytettävä periaatteet sellaisten virheiden tai vahinkojen ennalta ehkäisemiseksi, joista voi tahattomasti aiheutua säteilyannoksia. Lisätietoja laadunvarmistuksen järjestämisestä on annettu ohjeessa ST 3.3 (53). Käytännön ohjeita laadunvalvontatestien suorittamiseen on annettu STUKin julkaisemassa oppaassa (40).

Läpivalaisulaitteiden laadunvalvontatestit (käyttäjien testit)	Suositteltu suoritusväli
Järjestelmän perusasetusten ja kuvanlaadun tarkistus	Päivittäin ennen tutkimusten aloitusta
Läpivalaisulaitteiden laadunvalvontatestit (Tekniset testit)	Suositteltu suoritusväli
Annosautomaattikka	1 v
Suurin annosnopeus	1 v
Kuvan laatu	1 v
Säteilykentän raja	1 v
Muut valmistajan suosittelemat testit	

Lähde: Terveystilan röntgenlaitteiden laadunvalvontaopas (40)

#### **Esimerkki laadunvalvontatestistä:**

Päivittäisellä laadunvalvontatestillä on tarkoitus varmistaa laitteiston toimintakunto ja tarkistaa järjestelmän perusasetusten toimivuus ja kuvanlaatu ennen varsinaisten tutkimusten aloitusta.

Testi suoritetaan läpivalaisemalla tähän tarkoitukseen soveltuvaa testikappaletta vakioasetuksilla sekä vakioläpivalaisujailla. Testikappaleeksi soveltuu esimerkiksi kuparilevy, joka on kiinnitetty muutaman sentin paksuiseen muovialustaan ja jossa on kuvanlaadun pikaiseen arviointiin sopivia yksityiskohtia.

Testillä tarkastellaan annosnopeusautomaatiikan säätämiä läpivalaisuarvoja, putkijännitettä (kV), virtaa (mA), pulssin pituutta sekä monitorin kuvan paikkaerotuskykyä ja kontrastia. Laitteessa olevaa DAP-mittaria (kun pidetään kenttäkoko testissä vakiona) tai annosnopeusnäyttöä voi myös hyödyntää laitteiston toimintakunnon seurannassa.

#### **L4.4 Potilaan säteilyaltistuksen vertailutasot ja kliininen kuvanlaadun arviointi**

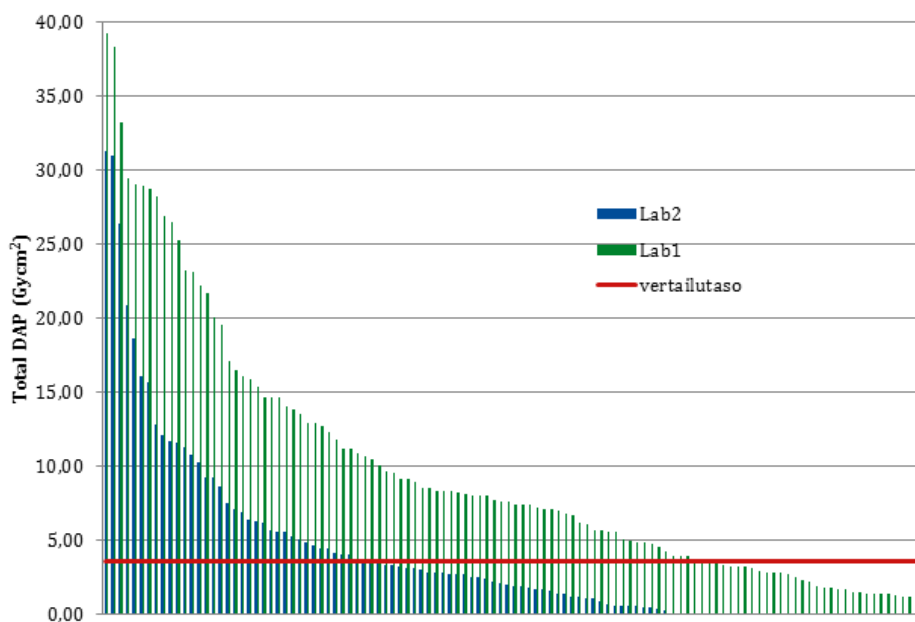
Potilaan säteilyaltistuksen *vertailutasolla* kardiologisessa säteilyn käytössä tarkoitetaan etukäteen määritettyä röntgentutkimuksen säteilyannostasoa, jonka ei oleteta ylittyvän normaalikokoiselle potilaalle hyvän käytännön mukaan tehdyssä toimenpiteessä. STM:n päätöksen (44) mukaan röntgentutkimuksista aiheutuvia säteilyannoksia tulee säännöllisesti mitata tai arvioida laskennallisesti, annostiedot on tallennettava ja niitä on järjestelmällisesti vertailtava vertailutasoihin. Jos vertailutason todetaan toistuvasti ylittyvän, tulee selvittää ylitysten syyt ja tehdä tarpeelliset toimenpiteet säteilyaltistusten pienentämiseksi. Potilaan säteilyaltistuksen vertailutasot kardiologiassa on annettu STUKin päätöksessä (54) ja taulukossa L4.1.

Taulukko L4.1. Potilaan säteilyaltistuksen vertailutasot kardiologisissa toimenpiteissä.

Tutkimus tai toimenpide	Annoksen ja pinta-alan tulo, DAP (Gy cm <sup>2</sup> )
Sepelvaltimoiden varjoainetutkimus (CA)	30
Pallolaajennus (PCI)	75
Tahdistinasennus (pl. CRT-tahdistinasennus)	3,5
Katetritekniikalla tehtävä aorttabioläpän asennus (TAVI)	90
Eteisvärinän katetriablaatio	25

Kardiologiassa potilaan annokset vaihtelevat suuresti mm. potilaan anatomian, toimenpiteen vaikeusasteen tai lääkärin kokemuksen mukaan. Tämän takia on suositeltavaa, että otos, josta potilaan altistus lasketaan, on riittävän suuri esimerkiksi vähintään 100 potilaasta. Toimenpiteen vaikeusasteen voi helpoiten huomioida jakamalla toimenpiteet eri ryhmiin, esim. tahdistinasennuksen voi jakaa yhden tai kahden lokeron tahdistinasennuksiin sekä CRT-asennuksiin.

Koska annokset vaihtelevat paljon niin yksi vaihtoehto, keskiarvon lisäksi, voi olla annoksien jakaumien analyysi (kuva L4.1). Toiminnan muutokset tulevat herkästi esille annoshistogrammien analyysissä vuodesta toiseen. Poikkeamia voi analysoida ja toimintaa kehittää tuloksien perusteella.



Kuva L4.1. Annosjakauma

Potilaan säteilyaltistuksen määrittämisen ja seurannan rinnalla myös *kliinisen kuvanlaadun arvioinnilla* on suuri merkitys tutkimusten optimoinnissa (ks. kohta L2.3). Kuvanlaadun arvioinnilla tarkoitetaan säännöllisesti tehtävää diagnostisten potilaskuvien arviointia, jossa dokumentoidusti käydään läpi esimerkiksi tietyllä aikavälillä otetut potilaskuvat (esimerkiksi tietyistä tutkimustyyppistä) ja verrataan niitä yleisesti hyväksyttyihin hyvän kuvan kriteereihin. Kardiologiassa arvioinnista vastaa kardiologian erikoislääkäri. Lisätietoja kuvan laadun arvioinnista on annettu ohjeessa ST 3.3 (53). Retrospektiivisessä kuvan analyysissä voidaan arvioida esimerkiksi blendojen, suuntien sekä suurennoksen käyttö. Yksi vaihtoehto on verrata toimenpidekuvaa esimerkkikuvaan, joka on näytetty viereisessä monitorissa.

Kuvan laadun arviointia voidaan toteuttaa myös prospektiivisesti. Lääkäri tai koulutettu hoitaja voi arvioida toimenpiteen jälkeen kohinaan määrän (esim. asteikolla 1–5) sekä blendojen, suuntien ja suurennoksen käytön. Tulokset analysoidaan, kun riittävästi kuvia on arvioitu, ja toimintaa kehitetään saatujen tulosten perusteella.

Käyttöönottoon yhteydessä optimoidaan kuvanlaatua. Se tehdään yhteistyössä laitetoimittajan (kuvanlaatuspesialistin) kanssa. Tallainen toimintatapa on turvallisin vaihtoehto. Uudet laskenta-algoritmit ovat monimutkaisia ja usein yhden parametrin arvon muuttaminen vaikuttaa moneen asiaan. Tyypillisesti vain laitetoimittajan edustajalla on riittävä tietotaito

ja ymmärrys tästä, usein liikesalaisuuksien takia. Lopputuloksena on, että kerran optimoitua kuvanlaatu muutetaan aika harvoin.

Kuitenkin, kardiologilla on halutessaan seuraavat (tyypilliset) mahdollisuudet jälkikäsitellä kuvia:

- kuvan rajaus
- käänteinen kuva (Invert)
- reunakorostus
- kontrastin ja kirkkauden säätö
- digitaalinen suurennos
- kommenttien lisäys
- mittaukset, usein analysointiohjelmien avulla (esim. QCA- ja LVA-ohjelmat).

Tämä jälkikäsitely tapahtuu joko kuvaushuoneessa heti kuva/LPV-sarjan oton jälkeen tai säätöhuoneen puolella. Jälkikäsitely ei muuta kuvanlaatua pystyvästi, muutokset näkyvät vain yhdessä kuvassa (kuva/LPV-sarjassa).

### **Kuvan laadun optimointi angiografiassa**

#### **A. Toimenpiteen aikana**

- Käytä kaihtimia: mitä suurempaa aluetta sädetetään, sitä enemmän sirontaa syntyy. Sironta taas vähentää kuvan laatua.
- Huomioi läpivalaisuunat: kuvan laatuun vaikuttaa sekä potilaan paksuus, että kudoksen laatu, esim. keuhko versus luu (RAO vs LAO). Keuhkokudos (ilma) aiheuttaa vähemmän sirontaa kuin tiheämpi aine (esim. luu).
- Suosi läpivalaisua kinekuvausten tilalle (uusissa laitteissa on läpivalaisun tallennuksen mahdollisuus). Kuitenkin jos on tarpeen, käytä kinekuvausta.
- Suosi matalia pulssinopeuksia. Kuitenkin jos on tarpeen, nosta pulssinopeutta niin kuvan laatu paranee.
- Huomioi ilmaisimen paikka. Laite on kalibroitu niin, että kuvan laatu on paras, kun ilmaisimien on lähellä potilasta. Jos ilmaisimien on todella ylhäällä, niin erotuskyky heikenee.
- Käytä apuohjelmia, esim. stentin visualisointiohjelmia (stent boost).
- Käytä mielellään suurinta kenttää ja kaihtimia. Kuitenkin jos on tarpeen, käytä suurennotta.
- Käytä monitorin kuva-ala tehokkaasti kuvan näyttämiseen.
- Joskus kuvan jälkikäsitely toimenpiteen aikana auttaa kuvan laadun parantamisessa.

#### **B. Ennen toimenpidettä**

Tämä optimointi tapahtuu tiimityönä: lääkäri, röntgenhoitaja, fyysikko ja laitetoimittaja.

- Aseta oikeat pulssinopeudet protokoliin.
- Aseta jännitteen vaihteluvälit protokoliin.
- Aseta suodatuksien vaihteluvälit protokoliin.
- Päätä onko tarpeen luoda erillisprotokollat obeesipotilaita varten.
- Päätä millainen kuvan jälkikäsitely on käytössä.
- Aseta ympäröivä valaistus sopivaksi niin, että juuri teidän monitorilta kuva on hyvännäköinen eivätkä silmät väsy.

- Päättää low-dose- ja eco-protokollien käytöstä.

#### C. Laitteen elinkaaren aikana

- Perehdy uuteen tietoon ja uusiin tekniikoihin.
- Päivitä laitteisto tarvittaessa.
- Käy ajoittain läpi protokollat ja muut laitteiston asetukset laitevalmistajan ja fyysikon kanssa.
- Panosta jatkuvaan koulutukseen.
- Huolehdi laitteiston laadunvarmistuksesta (käyttäjän ja huollon tekemä).
- Huolehdi monitorin laadunvarmistuksesta.

#### L4.5 Säteilymittaukset

Säteilylain (6) mukaan säteilyaltistuksen arvioimiseksi ja turvallisuuden varmistamiseksi tarpeelliset mittaukset on tehtävä luotettavaksi todetulla menetelmällä. Mittaukseen käytettävän säteilymittarin tai säteilyn mittauslaitteiston on oltava asianmukaisesti kalibroitu. Säteilymittausten tarkkuusvaatimuksia ja mittareille tai mittausjärjestelmille asetettuja vaatimuksia on käsitelty ohjeessa ST 1.9 (55).

#### L4.6 Koulutus

Säteilylain (6) mukaan toiminnan harjoittaja on velvollinen järjestämään toiminnan laadun ja laajuuden mukaan suunniteltua koulutusta säteilylähteiden käyttöön osallistuville henkilöille. Koulutuksessa tulee säteilylähteiden käytön edellyttämien tietojen ja taitojen ohella korostaa turvallisuutta ja laadunhallintaa normaalista poikkeavien tapahtumien ennalta ehkäisemiseksi.

Säteilyn lääketieteelliseen käyttöön osallistuvien henkilöiden ammatillista täydennyskoulutusta järjestettäessä on säteilysuojelu sisällytettävä tarkoituksenmukaisella tavalla täydennyskoulutuksen osaksi. Uudenlaista tutkimus- tai hoitomenetelmää tai uutta radiologista laitetta käyttöön otettaessa on erityisesti huolehdittava siitä, että käyttötoimintaan osallistuvat saavat riittävän perehdyttämiskoulutuksen. Säteilysuojeluun liittyviä koulutusvaatimuksia on käsitelty ohjeissa ST 1.7 (7) ja ST 1.8 (8).

Täydennyskoulutusvaatimus on säteilytyöluokkaan A kuuluvilla kardiologeilla ja röntgenhoitajilla yleensä 40 tuntia ja angiolaboratoriossa säännöllisesti työskentelevällä sairaanhoitajalla 20 tuntia viidessä vuodessa.

#### L4.7 Poikkeavat tapahtumat ja vaaratilanneilmoitus

Säteilyasetuksen (43) mukaan STUKille on ilmoitettava viivytyksettä mm. säteilyn käyttöön liittyvästä poikkeavasta tapahtumasta, jonka seurauksena turvallisuus säteilyn käyttöpäikällä tai sen ympäristössä merkittävästi vaarantuu sekä muista poikkeavista havainnoista ja tiedoista, joilla on olennaista merkitystä työntekijöiden tai ympäristön säteilyturvallisuuden kannalta. Lisätietoja poikkeavien tapahtumien ilmoittamisesta on annettu ohjeessa ST 3.3 (53), jonka mukaan osa poikkeavista tapahtumista on ilmoitettava välittömästi STUKiin, ja muut kuin välittömästi ilmoitettavat tapahtumat tulee ilmoittaa vuosi-ilmoituskoontina seuraavan vuoden tammikuun loppuun mennessä.

**STUKille on ilmoitettava viipymättä ainakin seuraavat poikkeavat tapahtumat:**

- ulkopuolisen henkilön tahaton altistuminen säteilylle
- väärän potilaan kuvaus
- työntekijän tavanomaisesta poikkeava altistuminen poikkeavan tapahtuman yhteydessä
- potilaan saama merkittävä ylimääräinen altistus poikkeavan tapahtuman yhteydessä
- sikiön saama merkittävä ylimääräinen altistus poikkeavan tapahtuman yhteydessä
- systemaattinen laite- tai järjestelmävikä muu tapahtuma, josta on tärkeää tiedottaa muille toiminnan harjoittajille.

Angiolaitteen aiheuttamasta vaaratilanteesta on aina tehtävä ilmoitus Valviralle niin pian kuin mahdollista. Vakavasta vaaratilanteesta on ilmoitettava 10 vrk:n kuluessa ja läheltä piti -tapauksesta 30 vrk:n kuluessa. Vaaratilanteista ilmoittaminen on ammattimaisen käyttäjän lakisääteinen velvoite. Ilmoituksen voi tehdä oheisen linkin kautta avautuvalla kaavakkeella. Toiminnan harjoittaja tiedottaa vaaratilanteen myös STUKille.

Linkki vaaratilanneilmoituslomakkeeseen: <https://tilt.valvira.fi/tiltvaara/index.html>

**L4.8 Itsearviointit ja kliininen auditointi**

STM:n asetuksen (44) mukaan toiminnan harjoittajan tulee edistää säteilyn lääketieteelliseen käyttöön osallistuvien henkilöiden omatoimisia arviointeja toiminnan kehittämiseksi. Omatoimisilla arvioinneilla tarkoitetaan sekä itsearviointeja että sisäisiä auditointeja. Itsearviointit toteutetaan omalla henkilökunnalla siten, että henkilöt tai toimintayksiköt arvioivat itse omaa toimintaansa. Sisäisen auditoinnin suorittavat auditoitavasta toiminnasta riippumattomat organisaation omat henkilöt tai organisaatiossa olevat rinnakkaisyksikön edustajat. Omatoiminen arviointi voidaan tarvittaessa tehdä yhteistyössä arvioinnin tueksi kutsutun ulkopuolisen asiantuntijan kanssa. Arvioinnin suorittamiseen ja raportointiin voidaan soveltaa vastaavia menettelytapoja kuin ulkopuolisen suorittamassa kliinisessä auditoinnissa. Liitteessä 6 on esimerkki kardiologisen toimintayksikön itsearviointista.

**Itsearviointiin soveltuvia aiheita ovat**

- toiminnan rakenne (esim. resurssit: tilat, välineet, henkilökunta)
- prosessit (esimerkiksi lähetekäytäntö, oikeutusarviointi, säteilysuojainten käyttö, tutkimusprotokollat)
- tulokset (esimerkiksi lausuntojen paikkansapitävyys, komplikaatioiden määrä).

Itsearviointien tarkoituksena on löytää organisaation vahvuudet ja kehittämiskohteet. Ennenkuin laatua voidaan parantaa, tarvitaan tietoa organisaation vallitsevasta tilanteesta. Itsearviointien avulla voidaan mitata ja arvioida toimintaa eri näkökulmista. Säännöllisesti toistuvat arvioinnit kuuluvat olennaisena osana paitsi laadun varmistamiseen myös hyvään



turvallisuuskulttuuriin. Myös säteilyn käytössä laadukas toiminta ja kattava toimintakulttuuri tarvitsevat tuekseen toiminnan järjestelmällisiä arviointoja, sekä omatoimisia että organisaation ulkopuolelta tulevia arviointoja. Omatoimiset arvioinnit, niin itsearvioinnit kuin sisäiset auditoinnitkin, ovat tehokkain ja nopein tapa organisaation kehitystarpeiden havaitsemiseen.

Omatoimiset arvioinnit ovat tehokkaita, koska ne voidaan helpoiten kohdistaa niihin toiminnan osa-alueisiin, joissa on esiintynyt ongelmia tai nähty tarvetta toimintojen parantamiseen. Koko henkilöstö voi osallistua toiminnan kehittämiseen. Työmotivaatiota lisää se, että osallistujat pääsevät vaikuttamaan, suunnittelemaan ja antamaan palautetta ja näkevät itse kehitystyön etenevän. Avoin ja salliva ilmapiiri sekä toisten työtä kunnioittava lähestymistapa varmistavat omatoimisen arvioinnin onnistumisen. Omatoimisten arviointien kohteeksi yksiköissä on hyvä valita aiheita, jotka kuuluvat johonkin STM:n asetuksessa (44) luetellusta kymmenestä aihepiiristä ja jotka voidaan tarvittaessa toistaa, jotta huomataan tapahtunut kehitys toiminnassa.

Säteilylain (6) mukaan toiminnan harjoittaja on velvollinen järjestämään säteilyn lääketieteellisen käytön suunnitelmallisen arvioinnin (kliininen auditointi), jossa selvitetään noudatettuja tutkimus- ja hoitokäytäntöjä, säteilyaltistuksia sekä tutkimus- ja hoitotuloksia, vertaillaan niitä hyväksi todettuihin käytäntöihin sekä esitetään tarpeelliseksi arvioituja toimenpiteitä käytäntöjen kehittämiseksi ja perusteettoman säteilyaltistuksen ehkäisemiseksi. Kliinisen auditoinnin tarkoituksena on siten edistää hyviä käytäntöjä.

Kliiniset auditoinnit tulee järjestää niin, että ne tarkoituksenmukaisella tavalla täydentävät toiminnan itsearviointia. Lisätietoja kliinisen auditoinnin toteuttamisesta on annettu STM:n asetuksessa (44) ja ohjeessa ST 3.3 (53). Terveyden- ja hyvinvoinnin laitoksen (THL) asettama ja STM:n rahoittama Kliinisen auditoinnin asiantuntijaryhmä (KLIARY) julkaisee kliinistä auditointia koskevia valtakunnallisia suosituksia (56).

#### **L4.9 Laatuksikirja**

Edellisissä luvuissa kuvatut säteilysuojeluun liittyvät vaatimukset voidaan toteuttaa osana säteilytoimintaa harjoittavan organisaation toimintajärjestelmää. Toimintajärjestelmää kutsutaan myös laatuksijärjestelmäksi.

Säteilyn käyttöä koskevan toimintajärjestelmän toimivuutta samoin kuin laadunvarmistuskäytäntöjä on arvioitava säännöllisesti ja ohjeistusta ja käytäntöjä on tarvittaessa muutettava.

## Liite 5

### Esimerkki röntgenlaitteen laadunvalvontatestistä

#### PÄIVITTÄINEN LAADUNVALVONTAMITTAUS

##### Tarvittavat laitteet

- Fantomi: 2 mm-paksuinen kuparilevy & 5 cm paksu muovialusta, johon on liimattu paikkaerotuskyvyn (viivaparit) ja kontrastin (pallot) arvioimista varten testikappale.
- Seurantataulukko, johon kaikki merkinnät tehdään, löytyy sydänkeskuksen valvontahuoneen PC-tietokoneen työpöydältä. Tiedoston nimi on "Aamutesti, Sali 1 ja Aamutesti, Sali 2."

##### Toteutus

Valitse "Schedule" ja "Add". Potilaan nimeksi ("Patient last Name") laita "päivämäärä." Klikkaa "OK", valitse Application-kohdasta: "Aamutesti (7.5 k/s low)" ja "Sel. For Acquisition." Valitse "Runlog"-välilehti.

1. Aseta kuvausgeometria seuraavaksi:
  - a. pöydänasetus: niin ylös kuin on mahdollista
  - b. C-kaaren asetus: RAO: 0° ja CRAN: 0°
  - c. SID 100
  - d. FOV (kenttäkoko): FD (25 cm)
  - e. Kaihtimet auki
2. Aseta fantomi paljaalle kuvauspöydälle keskelle säteilykenttää.
3. Läpivalaise valvomon puolelta ja tarkista, että fantomi on keskellä kuvaa.
4. Läpivalaise 5 s ajan, ota läpivalaisukuva muistiin silmäkuvasta.
5. Ota kuvasarja polkemalla keskimmäistä poljinta n. 1 s verran.
6. Valitse/tummenna Runlog-sivulla Läpivalaisu- tai kuvasarjarivi saadaksesi tiedot näkyviin kyseisestä sarjasta.
7. Merkitse läpivalaisusarjasta muistiin kV, mA. Tarkista pallot ja viivaparit sekä valvomon monitorilta että kuvaushuoneen monitorilta.
8. Merkitse kuvaussarjasta muistiin kV, mA, ms, DAP/kuvien määrä. Tarkista pallot ja viivaparit sekä valvomon monitorilta että kuvaushuoneen monitorilta.
9. Paina Close Examination



2016									
Patient		Exam	Event Log	Run Log	Request	History	Protocol	Report	
Run	Images	Time	Procedure	Rotation	Angulation	kV	mA(s)	ms	DAP (mGy/cm²)
1	41	07:36	Fluoroscope	0	0	72	3	0	26
2	6	07:37	Kamutesti 7.5 kV low	0	0	69	510	5	25.9/6

Esimerkki  
kuvasarjan  
DAP/kuvien  
määrä  
25.9/6

**Analyysi**

Testin tavoitteena on tarkistaa koneen toimintakunnon vakioisuuden säilyminen. Tarkista, että kaikkien merkitsemiesi arvojen vaihtelu ei ole sallittua suurempi.

**Raja-arvot**

Jännitteen vaihtelu saa olla enintään  $\pm 5\%$  ja virran vaihtelu  $\pm 10\%$ . Erotuskyky saa poiketa enintään yhden asteen viivapariasteikolla vertailuarvosta ja kontrasti  $\pm 1$  pallo.

**Suoritusvälit, tekijä**

Päivittäin aamulla. Sairaanhoidaja tai röntgenhoitaja.

**Ongelmatilanteessa**

Jos arvojen vaihtelu on sallittua suurempi, tarkista kuvausgeometria ja asetukset. Toista testi. Jos tulokset eivät muutu, niin ota yhteyttä fyysikkoon ennen potilaan kuvantamista.

## Liite 6

### Esimerkki itsearvioinnista

#### Itsearvioinnin kohde:

Sydäntoimenpideyksikön Sali 1, liikuteltavien sädesuojaseinien sijoittelu

Arviointi ajalta: 26.4.2017

Työpaikka: Sydäntoimenpideyksikkö Sali 1

Arvioija: Fyysikko ja röntgenhoitaja

#### KUVAUS ARVIOINNIN SUORITTAMISESTA

- Tarkoituksena tarkastella kuinka kolme liikuteltavaa sädesuojaseinää tulisi asetella, jotta ne suojaavat mahdollisimman hyvin passarina ja potilashoitajana toimivia hoitajia koronaariangiografien kuvauksien ja -toimenpiteiden aikana.
- Mittaukset tehtiin syyskuussa 2016 käyttöön otetussa angiosalissa, jossa Philipsin ALLURA FD10 Clarity C-kaari.
- Mittaukset tehtiin sekä läpivalaisun sekä kuvasarjojen aikana käyttäen Uniforsin Xi-anturia. Fantomina oli 23.5 cm pleksifantomi

#### ARVIOINNIN KRITERIT

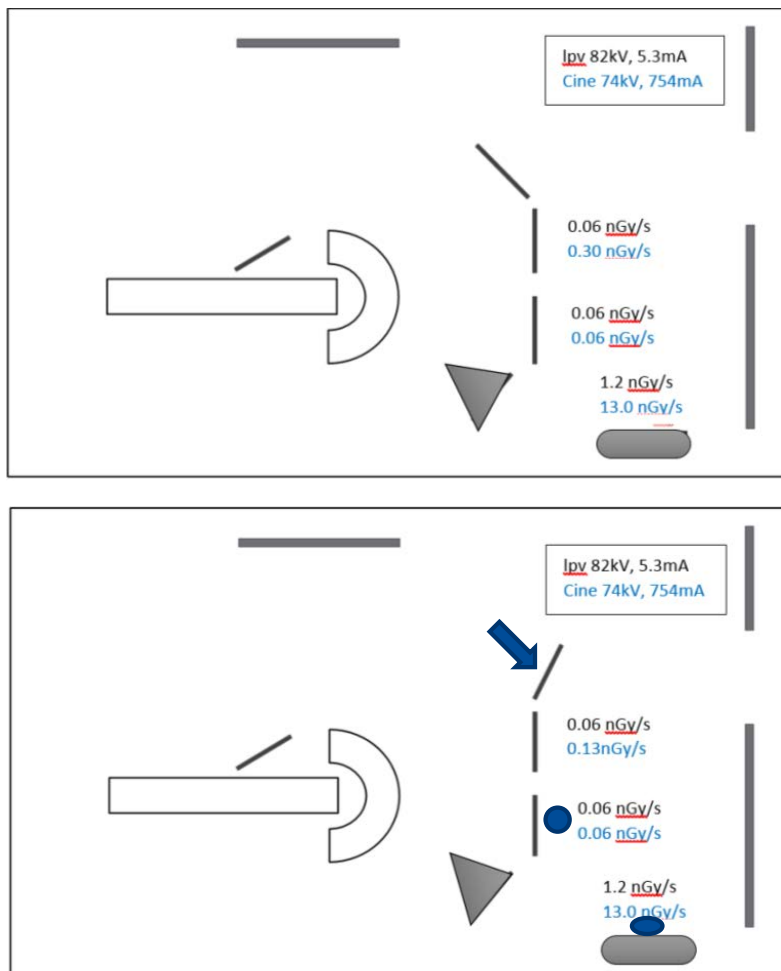
- Kuinka liikuteltavat sädesuojaseinät tulisi asetella angiosalissa, jotta ne suojaisivat mahdollisimman hyvin passaria ja potilashoitajaa.
- Tässä huomioitava ALARA-periaate sekä yksilönsuojaperiaate työntekijän näkökulmasta.

#### TIEDONKERUU

- Mittaukset suoritettiin angiosalissa sädesuojaseinien takana olevien tietokoneiden luona, jossa kaksi hoitajaa työskentelee koronaariangiografiakuvausten ja -toimenpiteiden aikana.
- Mittaukset tehtiin C-kaaren ollessa AP-suunnassa. SID:n ollessa 115 cm, FD:n 25 cm.
- Läpivalaisu low 7,5 fr/s, putkijännite 82 kV, putkivirta 5,3 mA. Kuvaus koronaari normal 15 fr/s, putkijännite 74 kV, putkivirta 754 mA.
- Mittaukset tehtiin mittajan seistessä mittarin kanssa paikallaan säteilytysten aikana ja toinen kävi välillä siirtämässä sädesuojaseinää eri kulmiin. Näin voitiin varmistaa että mittaustaikaa pysyi samana.

#### TULOKSET

Mittausten perusteella huomattiin, että sädesuojaseinien oikein asettelulla on merkitystä passarina toimivan hoitajan saamaan sädeannokseen kuvasarjojen (koronaari normal, 15 fr/s) aikana. Kolmannen sädesuojan ollessa kohdistettuna hoitajaan päin suojaten muovisista kaapinovista siroavaa säteilyä, sädesuojaseinää suojasi lähes kolme kertaa paremmin kuin jos sädesuojaseinää oli aseteltu säteilylähteeseen päin (*kuvassa nuolen osoittama suojat*). Mittauksissa todettiin myös, että potilashoitaja (*kuvassa ympyrä*) on hyvin suojassa säteilyltä työskennellessään tietokoneella, joka on sädesejän takana. Työskennellessään lääkevaunun edessä (*kuvassa soikio*) saa hän sädeannosta niin läpivalaisun kuin kuvasarjojenkin aikana. Koska tällöin häntä suojaa ainoastaan kattokeskuspendeli, joka näkyy kuvassa kolmiona.



### Toimenpiteet JA SEURANTA

- Angiosalissa työskentelevien on hyvä tietää kuinka liikuteltavat sädesuojaseinät olisi hyvä sijoittaa salissa, koska sädesuojaseinät ovat liikkuvia ja esimerkiksi siivouksen jälkeen voivat olla aseteltuna väärällä tavalla.
- Säteilystä vastaavan johtajan tulee määrittää henkilö, jonka tehtävä on laittaa salin lattiaan teippimerkinnyt kuinka liikuteltavat sädesuojaseinät tulisi olla tutkimusten aikana.

### ARVIOIJAN ALLEKIRJOITUS

Nimi: Joanna Sierpowska ja Kirsi Vinni-Lappalainen

Päivämäärä: 2.5.2017

ISBN 978-952-309-426-0 (nid.)  
ISSN 1799-9464



STUK

Säteilyturvakeskus | Strålsäkerhetscentralen | Radiation and Nuclear Safety Authority  
Laippatie 4, 00880 Helsinki | Puh. (09) 759 881 | fax (09) 759 88 500 | [www.stuk.fi](http://www.stuk.fi)